

重力性造山運動と流動地体構造*

西欧文献の概観

A. V. Volin

小西善治訳

地質学者 Khills は、“構造地質学概要”の論文で次のように述べている。造山運動の機構に関する学説では、科学的考え方は、流動構造——欧州における地質学者の多くの現代の研究対象となつている——におけるよりも、はるかに進んでいる。そこで、“流動構造”とはなんであるか、なにがゆえに西欧の地質学者は広く注目しているのであるか。この問題はたしかに興味がある。

流動学説 (tectonique d'écoulement) は、1938年に、フランスの地質学者 Shneegans La Géologie des Nappes de l'Ubaye-Embrunais entre la Durance et l'Ubaye の著者一、Gignoux, M. と L. Moret—同年に発行された Description géologique du bassin Supérieur de la Durance の著者によつて導入されたものである。1年後には、アルプス地質学の創説者の1人である。Lugeon Moris が、Préalpesに関する発表をなし、新しい考え方を附加することに成功した。現在では、Furon によれば、この考え方を西欧の全アルプス地質学者がとりいれている。このようなことは、科学において例のないことである。しかし10年もたないうちに、デッケの概念の信奉者たちは、褶曲機構に関する自己の考え方をすてて、原則的には異なる学説——1948年にはアメリカの地質学者がとり入れている——の擁護者となつている。

新理論は、第二次大戦後広く普及したが、その基礎をなす考え方は、古くから胚胎し、4階梯を経て発展してきたものである。

I. 重力現象としての褶曲に関する最初の観念

最初の考え方の内容はきわめて簡単である。P. Dal によれば、イタリアの地質学者 Lyuzhi Vambis は1882年にすでに巨大な地塊が傾斜面にそつて緩慢に、しかもたえまなく滑動したアペニン北部の構造が起こつてきたと考えていた。10年後にはスイスの地質学者 Schardt は、Romand Pre-alps——きわめて新しい源地成モラッセ (autochthonous molasse) を覆っている——が、その基盤から切り離され、自重作用により相当の距離にわたつて傾斜面にそつて移動したことを提唱した。Lugeon は同じ年にスイスアルプスの褶曲が、引力法則により地表近くの堆積層の滑動に基づいて発生したことを指摘している。1890年には Reyer は褶曲山脈形成における滑動と重力との意義を実験的に示し、その結果は、1893年に Kilian により発表されている。1907年には Buxtorf は、ジュラ山地の構造が、三疊紀の塑性含岩塩・石膏粘土にそつてその被覆層が滑動してできたことを明らかにしている。

このように、褶曲および押し被せ機構に関する初期の考えからすれば、褶曲は、地表面上に堆積した地層がその自重によつて滑動して——少なくとも一部——生成される。

* A. V. Волин : Гравитационный тектогенез и тектоника истечения (обзор зарубежной литературы), Советская геология, No. 8, Москва, 1959

この種現象と河の流れとが類似しているのは、偶然でない。水は、なんらかの力が(その水)押し出すか、下方に衝き出すから流れるものではない。ある種の褶曲の場合と同様に重力が流れの原因と考えられる。このことは、水力エネルギーが、河の勾配および包蔵水量に左右され、褶曲の強度、すなわち岩石変形に支出されるエネルギー量が、褶曲過程に巻き込まれる岩塊の容積および滑動面の傾斜角度と相関関係があることから推定される。堆積物底が、初期の状態のままであるならば、堆積層は、湖の滑かな面のように水平状態に留まるであろう。

しかし水は、河谷にそつて下方へ流れるばかりでない。静水圧下の水は、上方に吸上げられ地表上に湧出することがある。地質構造中の塑性生成物は、その周辺地層にさまざまな応力が働く結果、弱化(低圧)地帯へ移動し、時には、1地域から絞り出されて他の地域に押し出されるか、または地表面上に流れ出す。地球の内部では、水・石油およびガスが移動するばかりでなく、塑性岩石類も、流体と同様に乱流および層流運動を行なう。乱流が起こる場合には、全堆積塊は、無秩序運動を起こし、時には、氾濫水のように、堅固な岩屑が塑性物質とともに、単一の岩塊を形成して移動することがある。層流が起きる場合には、個々の地層だけが、互いにその面に沿つて滑動を起こす。

しかし岩石間には、水と硬い河底(岩石からなる)との差異ほどには著しい物理学的相違がみられない。ときには、剛性堆積岩類は、緩傾斜の剛性基盤に乗っていることがある。この場合には、地層の乱れは、起こらない。しかし堆積岩系と基盤の剛性岩石との間に、塑性層が挟在している場合には、僅かな勾配でも滑動が起きる。堆積岩が石膏上に乗る、その流動限界値が 50 kg/cm^2 であるならば、岩層の厚さが 1 km の場合には、 11° で、厚さ 3 km の場合には 3.5° で、滑動(地すべり)が可能となる。しかし時間要素を考慮に入れなければ、この値はきわめて小さい。河底の勾配がきわめて小さい場合でも、河は、われわれの目には流れているのが感じられる。岩石および堆積物も、地質時間の尺度では流動する。地質時間が長くなると、他の条件が等しければ、滑動(地すべり)効果は大きくなる。

II. 収縮学説

上述の考え方は、4分の1世紀の間忘れられていた。一般には、Suess および Heim の考え方が受入れられていた。この考え方によると、山嶽および褶曲帯の生成は、地球の深部——重圏 (bathysphere) ——の冷却により地殻に発生する接線応力の作用で説明されていた。この学説の成功は、押し被せ学説の発展を運命づけるにいたつた。20世紀の始めには、押し被せの存在を疑う人々はほとんどなかった。

その当時“重力流動”の術語を始めて用いた地質学者 Lugeon は、褶曲生成の真の要因として重力を認めることを拒否した (1902年)。

1919~1922年には、Albelt Heim の“スイスの地質”が出版された。Heim の言葉によれば押し被せの考え方は、すでに仮説でなく、現実となった。

大陸移動に関する Algard Kober の新学説では側衝および接線圧縮応力に関する考え方ならびに造山・褶曲運動に関する考え方がさらに固められている。剛性大陸地塊 (foreland または borderland) が、隣接した塑性、可撓性地向斜帯または造山帯を圧縮し、そこに褶曲山地が形成される。Algard が作成した断面では、大規模な絞り出し作用によつて——アフリカおよびヨーロッパ大陸で——アルプスが圧縮・生成されることがはつきりと描き出されている。

同じような原理による地体構造の生成概念は、地質学的思惟に影響を与えている。しかし約30年後には、揺動学説 (oscillation theory) の主張者はこの学説に反対を唱え出した。

III. 振動波動学説 (Oscillation and Undulation theories)

Haarman の振動学説の発見により、新しい時代が開けた。Haarman は、Stille と Haug の造陸運動および造山運動の代わりに、第一次、第二次造構運動という考え方を提唱した。第一

次造構運動には、あらゆる種類の垂直運動(隆起・沈降運動)が含まれ、この運動により、山脈、大ドームおよび巨大な沈降凹地が形成される。したがって一方向性の昇降運動はすべてこれに属している。第二次造構運動は、層状の堆積層の運動であつて、堆積層は重力の影響を蒙つてドーム状隆起の傾斜面にそつて滑動し、もまれて褶曲が生成されるか(自由滑動)、または地すべりが沈降凹地に起きるか(舟状盆地滑動)、または周辺岩石の圧力のもとに地球の内部から押し出される(搾滑動)。第一次造構運動は、静態重力の均衡を乱すが、第二次造構運動は、その状態を回復する。多くの場合、堆積物自体は、複雑な褶曲を形成することができる。例えば目には堆積物がみられないという単純な原因により複雑な褶曲構造が存在しない。

Haarman が見解を述べてから1年間経つて、Van Bemmelen は振動学説から誘導される結果を解析して次のような結論に達している。すなわち造構現象の二元的解釈は観察された事実の解明に対して明白な図式を与えると。さらに Haarman 原理に基づいて、Van Bemmelen は重力造構運動理論と波動理論とを發展させた。

第二次造構運動問題では、Van Bemmelen と Haarman との見解には原則的な差異が認められないが、第一次造構運動に関してはそうではない。振動が宇宙力の働きを受けて可塑的な地殻の下マス (under crust mass) が移動して発生するものとするならば、Van Bemmelen によると、地殻の広域沈降および(山脈)隆起は、マグマ密度の物理化学的変化、マグマの分化作用および深分化作用 (hypo-differentiation) ——地球の珪酸塩殻の地下深部の分層過程——に左右される。地殻のドーム状隆起は、マグマの軽いシアル産物の集積によるものである。この種シアル産物は、きわめて低い流動臨界値と低粘性度を持ち、密度 $2.3 \sim 2.7 \text{ g/cm}^3$ の asthenolith を形成する。

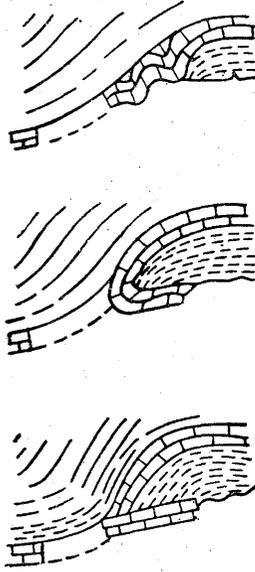
各隆起は、隣接地帯の沈降によつて補償されるので、変動 (diastrophism) の中心からあらゆる方向に伝播する巨大な波動を伴う造山運動と比較できる。隆起の規模はさまざまである。そのうちで最も大きな隆起——Geoundation (造陸運動) ——は、地殻の珪酸塩殻内に起きる運動によつて生成される。Mesoundation (造山運動) は、造構圏——造構運動が行なわれる珪酸塩殻の部分——内の地殻の移動によるものである。最後には undation (tumours) ——局部隆起——は地殻内のマグマ活動によつて形成される。

本論文では、この種の造山学説を詳しく検討する余裕がないので、第一次造構運動にふれないで、主として第二次造構運動を述べる。この運動の主要規定は、Van Bemmelen が次のように定式化している：重力性造構運動には、沈降地域における圧縮(褶曲・衝上)とそれに接する隆起地帯における伸張(正断層)が含まれる。

著者も、Dzhezkazgan の古生代構造を研究し、1947年に類似の結論に到達した。地殻の圧縮および伸張現象は、重力性造構運動の結果である。この結論は、“地殻中では圧縮のみが起り、伸張はみられない”という Heim の言葉と矛盾する。Van Bemmelen は、重力によつて発生するすべての運動——海底地すべりから地底を構成する地殻のイソスタシ性移動および第四紀の地すべりにわたる地塊運動——を重力性造構運動中に含めている。

重力性造構運動の原理は、すでに重大な試験に耐えた。この例はペルーおよびエクワドルの石油探査である。Brown および Baldry が、この国の第三系の変形が太平洋へ向かう地塊の重力性転位によつて発生したという考え方を押し進めるまでは、石油探査は失敗に終わつていた。

Garrison と Falkon によれば、イランでは、下部に塑性粘土層を伴つた石灰岩が、大きくみれば線状の起伏をつくつていているが、複雑な転位運動を蒙つている。谷の斜面では、石灰岩は転倒して横臥褶曲を形成したり、波曲したり、カスケード型褶曲を作つたり、あるいは大きな層をなしてすべりおち、ときにはルーフ構造 (roof structure) や蛇腹構造 (flap) を形成している。これらの構造中では、転位面は移動した岩石の層面と一致しているか、ほとんど一致している(第1図)。このような多様な転位形態は重力および起伏面によつて左右され、構



第1図 重力性繰くずれ構造 (Collapse structures) (Gogel による)
 上図はループ構造。中、下図は転倒褶曲およびカスケード型褶曲

造はそれに対応して重力性繰くずれ構造 (collapse structure) と名付けられている。多くの文献をみれば、この種の構造がとくに山嶽地帯に広く分布していることがあげられている。この種の構造は、イランで発見される以前にすでに Buxtorf および Vinsen が 1932 年に記載し、その後、第二次大戦後 Castany がジュラ山地について記載している。

IV. 流動成地質構造

重力性造構運動の問題の研究を押し進めたのは、地質図の作成のためにアルプスを精査した西欧地質家達である。アルプス構造の多くの特性を研究したスイス・フランス・イタリアおよびオーストリアの地質家は、褶曲構造における重力および滑動の意義に関する古い考え方を復活させる必要性を認めただけでなく、岩石の物理的性質にとくに留意した。すなわち西欧の地質家は、岩石の硬さ(剛性)および可塑性(粘性)に注目し、終りに岩層 (geologic formation) の占める空間および時間が、造構過程において大きな役割を果していることを認めなければならなかった。

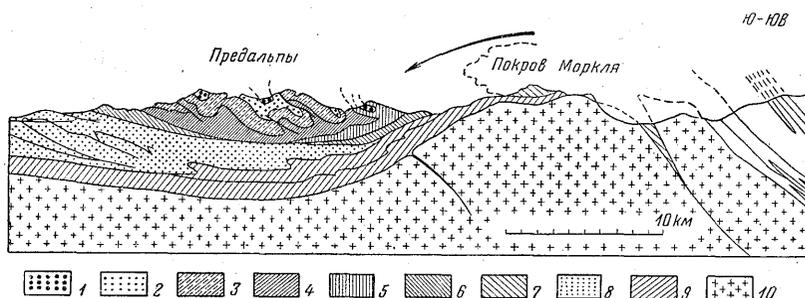
流動成地質構造の学説の基盤をなす観察 30年代の終り頃には、東部スイスとデツケフランスの Subbriannonais 帯の Helvetian の構造様式は、岩石の可塑性の差で説明されることが知られるようになった。その当時までは、アルプスの構造様式は、剝帯すなわち被覆層と基盤との剝離帯の存在によつて運命づけられると解釈されていた。

他方において、l'Ubaye-Embrunais 河間のフリツシュ層を研究していたすべての地質家は、延長 50 km 以下、厚さ 2~3 km 以下の薄層が背後からの接線応力の作用で押し進められたのでないことを明らかにした。広域を占める比較的薄い塑性物質に作用する力を考えてみてもこのような被覆層は、フリツシュとくにその基底部(黒色フリツシュ)が、被覆層の背面から前面まで圧応力を伝える能力をもたない塑性粘土から構成されているために、その場(in situ)に残留するであろう。l'Ubaye-Embrunais の第三紀フリツシュは、アルプス内帯における最も新期の地層であり、その上には、被覆層の基底を圧碎するような一層新しい地層が乗っていない。したがつてこの種被覆層が西方へ 20~30 km 移動したとは考えられない。重力成因説から被覆構造をみれば、被覆体の前面では褶曲構造はきわめて複雑な容貌を示すが、その中央

部では、よわい擾乱をうけた地層が観察されるという事実が説明できる。

Gignoux の考え方にみられる岩石の流動概念中には、変形ばかりでなく、きわめて小さい応力下で運動を起こす岩石の能力——きわめて緩慢であつても——が含まれている。したがつてこのような運動は、それ自体きわめて粘性度の高い流体の運動である。

プレアルプスの研究を行なつた Lugeon も、ほとんど同じような考え方に達している。この地帯では相互に累重するある種の造構成被覆層がきわめて僅かの空間を占めている。しかし著しく厚い地層の上部が侵食で削刺されたとはとても考えられない (第2図)。Lugeon は、50



1. Simme デツケ 2. 3. 4. Median Pre-alps (2 白堊系, 3 ジュラ系, 4 三層系) 5. Laubhorn
デツケ 6. Inner and Outer Pre-alps 7. Norcle デツケ 8. 9. 10. Autochthon (8第三紀層,
9 中生層, 10 古生層)

第2図 ロン河右岸のプレアルプスの概念断面図

年前の重力性流動の考え方に戻り、最近の著作では、古い収縮学説および大陸漂移説では全く説明できない被覆層のある種の構造特性が認められると主張している。例えば、遠く隔つて互いに存在する剛性石灰系の岩塊は、接線応力が働いたためにそれが占めていた場所に認めることができなくなつている。

新しい考え方によれば、ある地帯の次のようなきわめて奇妙な地体構成を解明することができる。すなわちこのような地帯では、同一の地層系から生じた薄層が、転倒していなくても、規準層序と逆の状態では累重しているのが認められる。Lugeon はこの現象を、積み重ねられた一組のカルクを滑らした時のように、地表上で薄層が逐次滑動して生じたものであると説明している。

Helvetian 被覆層の巨滑動が発生した斜面は、結晶質岩塊が隆起したために形成されたものである。したがつて各隆起階梯ごとに、アルプス前地に新しい地塊の滑動(割れ目, 断層の形成)が起こつたことが考えられる。

従つてアルプス前地および l'Ubaye-Embrunais 被覆層は、基盤との結合が迅速に断切られ、そのために長期間の成長過程において、水平応力がその地帯に働かなかつた点からみて、注目すべき地体構造である。

流動地体構造の創造者は、われわれの感覚に基づく日常経験が時間および空間の規模(scale)に本来左右されるということを非常によく理解している。この考え方は、固体が瞬時応力に対して脆い物体のように反応し、持続的に働く応力に対しては塑性物体のように反応する事実を考慮に入れば、容易に明らかとなる。ガラスは打撃によつて破碎される。しかし梁上に長時間はめこまれているガラスは向斜状に撓曲し、塑性物体のように振舞う。氷も、打撃すればこなごなに破碎されるが、時間が経つと塑性、流動塊のような挙動を示す。岩石の性質が容積の増加に伴つてどのように変わるかはまだ明らかではないが、すべての固体は、一定の条件下で流動領域へ移行する。Gignoux は、地質時間の尺度および地下深度では、固体および液体に関する普通の観念が消滅すると述べている。

従つて研究室内で、褶曲形成過程を実験的に復元せんとするならば、その性質が縮小モデル

に対応するような素材と実験時間とを選択することが必要である。このようなモデルとしてはある程度まで、褶曲構造の静態研究ができるような地質断面があげられる。また Moret, Mailliet, Pavans, de Ceccaty が行なった映写法も期待できる。この方法によると、百万年の時間経過に引き延ばされた山地形成過程を縮小モデルで再現するためには、薄められた歯科用パストで実験を行なう必要がある。このような素材は、自重作用で変形させることができ、側圧を伝達しない。この問題は、前述の著者と全く独立に、アメリカでも、同一結論に到達している。しかもフランスおよびアメリカの実験モデルは、Migliorini の批判を考慮に入れて再検討する必要がある。

深所、浅所造構運動 被押し圧地塊と滑動地殻とを区別するのは、容易でない。しかしアルプス前地では、この問題の解明に完全に成功し、重力性成因が立証されている。きわめて複雑な地質構造に対しては、重力性転位が、河岸、海岸にみられる褶曲構造になんらの関係をもたないで現世の小地すべりに似た現象を誘発することを常に考慮に入れるべきである。

他方においては、地質家は、流動造構運動の考え方にとらえられ、さまざまな構造形態の岩石および堆積物を流動現象で解明しようとしている。多くの研究者は、このような解明方法では、結晶片岩の褶曲構造、緑泥岩地帯の褶曲構造、山脈の軸部における同斜褶曲を明らかにできないと考えられている。Goguel によれば、流動造構運動は、地塊の易動性を解明できないが、側圧縮応力は、古期岩石の変形の解明に対しては、その意義を失っていない。Lugeon は、ジュラ山地の褶曲構造を重力によって解明せんとしたが、失敗に帰した。そこで、Lugeon は、地層を乱す力が、重力ばかりでなく、水平圧縮応力および滑動が、相互に区別できない程度に密接にからみあっていることを述べなければならなくなっている。

多くの地質家は、地球の深所過程が褶曲の生成に大きな影響を与えることを考えている。ある地質家は、岩石の流動が地表付近——河底・湖底より高所——付近のみ可能であることを認めている。Gignoux のように流動造構運動をさらに極端に追跡している他の地質家は次のように考えている。岩石は地表条件で移動しうらば、それは流動するが、深所ではその運動は、重力で誘発されないであろう。Gignoux の見解によれば、地塊の沈降および上昇運動は対流(熱勾配)によって誘発される。この仮説を初めて徹底的に擁護した1人は、ドイツ人の Kraus である。

Kraus は、上方深所流動帯 (hyporeon) と一層深所の流動帯 (batireon) に区分して、対流学説の立場から山の構造を記載している。第一の流動帯は、山脈の横断面で代表される地表構造を支配している。第二の流動帯は、走向にそう褶曲帯の発達を方向付けるとともに、アルプスおよびカルパチヤ弧のように山脈の撓曲を誘発する。この考え方は、オーストリー学派の造構学説と原則的に異なる考え方である。Ampferere, Schwenner の見解によれば、褶曲の生成は、固化地殻下にあるマグマの流動と容積変化とによって受動的に起きるものである。

以上の点を考慮に入れて、Gignoux は次の運動を分類している。

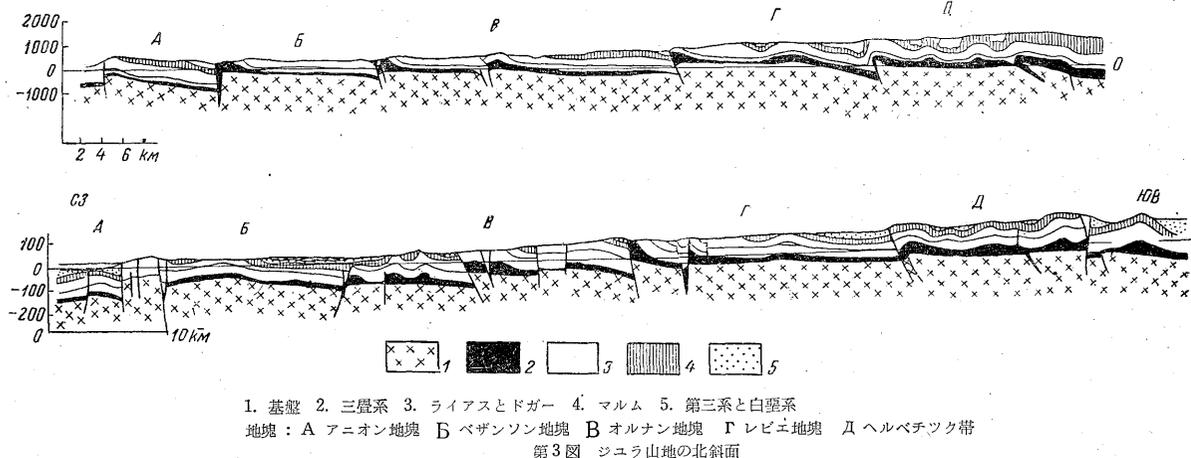
1. 対流流動
 2. イソスタシー
 3. 重力流動
- } 深部造構運動 (地理物理的現象)
- } 地表造構運動 (地質学的現象)

しかし、対流学説がどんなに魅力的な学説であつても、対流と関連性をもつ流動現象を立証するものを、地表構造にみつけたことは難しい。

Van Bemmelen は、地表造構運動を epidermal gravitational tectogenesis と名付け、その中に地すべり、沈降、自由滑動と収縮および絞り出し作用を伴う滑動運動を含めている。重力造構運動は、外部被覆層 (epidermis) にだけに限られないで、晶質基盤も、重力の影響を蒙つて、ずれおよび地すべりを起こすことが可能である。深部現象は、dermal および bathy-dermal gravitational tectogenesis を構成する。

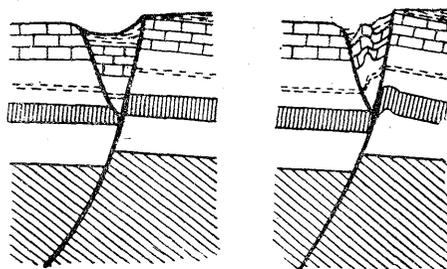
褶曲階梯の構造における基盤の役割 Lugeon が山地生成の解釈に失敗した後は、ジュラ

山地は、流動造構造学説によつてこの山地構造を解釈しようとした地質家が突き当たつたような困難さの注目すべき例にあげられるようになった。實際上、基盤の水平面上にのり、そのうえ、塑性の三疊系の水準にそつて基盤と広範囲に引き離されている地層の典型的な褶曲構造を重力で説明することは、全く不可能のように思われた。この問題は、Glyanzho によつて少なくとも解決されたようである。山地の北斜面では、基盤は、破碎帯にそつて約6つの地塊・ドーム構造——幅10~15km——に分かれている(第3図)。地昇は、北西から南東に向かつて上昇す



る階段状地形を形成しているようである。この方向においては、起伏は隆起し、同一側では、岩石層は傾いている。そのために各地塊の東側から下部被覆層に働く岩圧は、西側からのそれよりも大きいようである。このような状態で岩石に働く重力差が発生したので、三疊系、黒ジュラ紀の塑性岩塊は、東から西へ移動し、ドーム構造の辺部にそつて——地塊の西部破碎帯——複雑なダイヤビル型褶曲を形成している。

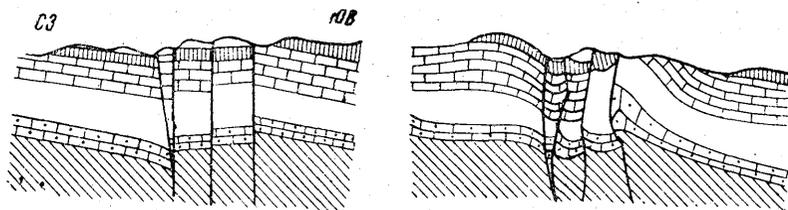
そのほかに、破碎現象は、褶曲構造を錯雑化している。すなわち断層間に挟まるずれ地層は、圧縮によつて“Pinching”褶曲(第4図)を誘発し、ときには、階段断層系にそう繰り返し運



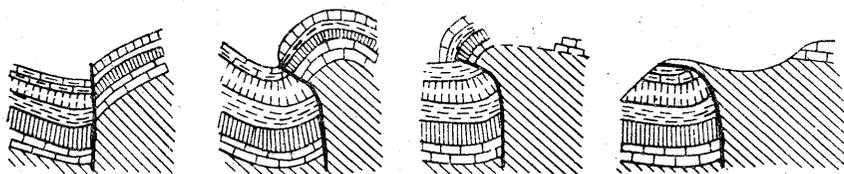
第4図 断層間に挟まるずれ地層の圧縮によつて誘発された pinching 褶曲

動により褶曲束を形成している(第5図)。きわめて教訓的なことは、時間の経過(漸新世に始まる)につれて、垂直破碎帯が水平状態になつて地表付近に近づきつあることである。断層は低起伏側に転倒し、そのために塑性三疊系は、隆起構造の足部で絞り出し作用を蒙つている(第6図)。

Clyanzho および Shneegans は、ジュラ山地で2つの主要褶曲様式を区別している。山地内部の全褶曲構造は、その基盤から剝離して、box-type 脊斜、鋭角向斜(acute angle type)線状または転倒褶曲系を形成している。与えられた場合における基盤の転位は、軟化影響を示している。山地の外部では、ヘルシンキの基盤は、地表面に除々に持ち上り、断層運動の影響



第5図 褶曲は地層が運動で破碎されてから側圧縮応力によって形成された



第6図 断層褶曲

漸新世に形成された垂直断層線が塑性地塊の絞り出し作用により徐々にはいあがつている。斜線は塑性地塊を示す

は、上部階の褶曲構造に直接反映している。この様式は (Kontua またはゲルマンタイプ) は、破碎帯に位置する地層の単斜構造・断層・褶曲、Pinching 褶曲および褶曲束で特色付けられる。

流動地体構造に属するある種の概念を指摘するのは、興味がある。

もぎ取り作用または鱗剝作用の造構接触帯 Fallot の言によれば、地質家は、堆積物系の構造要素がその基体に対して独立しているのを観察していたが、長い間にこの現象の重要なことを解明できなかつた。1942年までは、基盤にそう被覆層の滑動現象は、ある程度思弁的学説に留まつていた。Argand は、剛性の不活性遺体上に不整合に重なる被覆層の褶曲形態 (pli de couverture) を区別し、この概念を一般化した。Castany は、この考え方に反対して、堆積物と基盤との顕著な剝離を伴わずに発達する外被褶曲に関する概念を導入した (この場合基盤は、褶曲運動に干与し、脊斜構造の核部を形成している。)

次いで Fallot は、沿海アルプスの Barro ドーム構造の大規模の不調和に注目した。この地体構造中では、緩斜黒ジュラ統および旧第三系下に、幅 2km 以下の単純褶曲、転倒褶曲ならびに横臥褶曲帯に集合している塑性三畳系が存在する。このような三畳系の複雑な褶曲構造は二畳紀の弱褶曲構造上に発達している。この種の褶曲構造は、鱗剝作用を伴ない、フランスアルプスばかりでなく、塑性、含石膏、岩塩三畳系が発達している全亜アルプス帯で重要な役割を演じている。

Fallot によれば、鱗剝作用およびもぎ取り作用は、重力および接線応力の作用下に発生するか、またはこの種応力の交番作用 (alternating) 下に起きる。重力成構造では、褶曲運動は、“上方から下方へ” 逐次的に伝達される。したがって Stille の総合連続作用相に対応しない。

褶曲構造の不調和様式 Shneegans によれば、造構構造様式は、岩石自体、その厚さ組成、塑性度、硬さに含まれているさまざまな要因および明らかにすることが一層難しいその他の要因の組合せによって決定されるとともに、一方では、動応力の強度その分布度および褶曲帯における地層の位置によって異なってくる。最も緻密な岩石類 (塊状石灰岩) は、大規模の緩褶曲を形成するか、撓曲状に湾曲するが、最も塑性度の高い地層、例えば粘土層は、層流を起こして移動し、ときに集積して繰り返し小褶曲系を形成する (Gignoux による)。石灰岩および類似の硬い岩石類は、山脈の骨格を形成し、造構運動応力に対するこれらの岩石類の反応は撓曲以外に、その基盤との剝離と各地塊の粉碎との形をとって現われ、ときには滑動を起こし

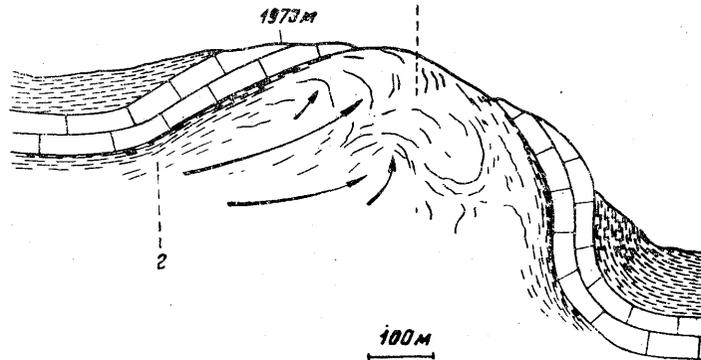
て、塑性岩石中に楔入 (wedge) することがある。楔入現象は、褶曲造成過程では受動的役割を演じ、硬い地塊の滑動が容易となる地表面でみられる。さらにこの種現象は、硬い岩石類間に働く圧力を緩衝し、水圧制動装置のように、地塊の運動を緩衝化し、ときに阻止することができる。

最近の西欧の地質学者の文献では、堆積岩石 (column) ——塑性・剛性堆積岩と考えられるこれらの岩石の移行型とに分けられている——が造構解析の基礎となっている。

Rossez は、Aravis 山地に対して褶曲・破碎構造特性を特色付ける 4 階梯を層序に応じて分類している。

引張り破碎 Chenevart は、中東の含石油構造の研究を行ない、次のような結論に達している。すなわち剛性または硬い岩石層は、破碎側で絞り出される基盤の塑性岩塊の強圧力によって破碎される。このような状態で形成される転位は、引張り破碎と名付けられる (fracture de distension)。Chenevart によれば、この種の破碎運動は不調和褶曲の必要要素である。現実には、このような褶曲を特徴づける現象としては、塑性素材の (容積) 不均等分布とくに留意すべきである。不調和褶曲に伴なう向斜沈降凹地では、塑性地層または層準の厚さは、ほとんどあらゆる場合において最小であるが、脊斜、隆起帯では、最大である。したがって脊斜構造の中心核では、塑性地層の押し出しによつて圧力の増大をきたし、そのために天盤の緻密岩石層の伸張を誘発することが全く自然のように思われる。

新期の褶曲地域では、著しく非対称性の脊斜構造にしばしば限られていることがある。この種の脊斜構造は、外翼が急傾斜をなし、内翼がかなり緩傾斜を示して、隆起側に傾いている。このような脊斜構造の形は、起伏の階段地形と一致する縁辺脊斜構造型である (第 7 図)。



1. 乱流運動帯 2. 層流運動帯
石灰岩層—葉状泥灰岩

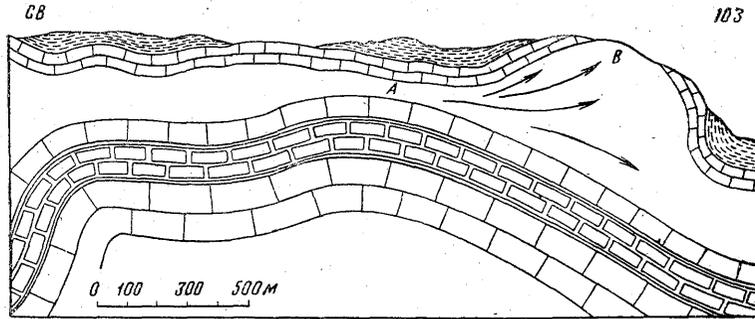
第 7 図 縁辺脊斜構造の中心部における引張り破碎

Chenevart によれば、閉縁辺脊斜構造における素材の集積は、塑性地層下にある潜在脊斜構造の成長と関連性をもっている。すなわち、脊斜構造の成長に伴なつて、塑性素材をドーム帯から引張り破碎帯側へ押し出す (第 8 図)。

Chenevart の考え方は、岩塩・石膏・泥灰岩からなる新第三系が 2 枚の硬い岩石系中に挟んでいる南部イランの含岩塩地帯で行なわれた O'Braien の観察結果と合致している。褶曲の不調和性は、硬い下部岩石系中における短軸脊斜の生成によつても明らかである。

造構削剝作用 初成造構運動で造成された地形は、浸蝕作用ばかりでなく、造構削剝作用、すなわち岩石の滑動——大小の 1 枚岩の形で地すべりが起きる——によつて変わってくる。

Accordi は、アルプス山地の白雲岩質上部層——粘土岩石層にそつて自重で地すべりを起こす——の不安定性に注目している。この種の転位現象は、頂点褶曲 (peak folding) および頂点断層 (peak fault) の形成を伴なう。



第8図 不調和褶曲と引張破砕との相関関係を示す構造破砕 石灰岩の成長背斜は、塑性素材をA点からB点へ押し出す(絞り出し作用に基づく)

ある場合には、固化岩石は山地の隆起によつて、塑性基盤にそつて地すべりを起こし、そのために独立の低地帯を誘発し、次いで侵食作用を蒙つて広い谷、峡谷が形成される。地層の滑動(地すべり)は、造構地形学の現象中で最も研究されていない領域である。しかし Lombard は、流体地体構造と関連性がある現象を考慮に入れて、侵食活動ばかりでなく、造構削剝作用によつて、ある種の低地形を解釈することが必要であると考へている。例えば侵食作用では、破覆層と基盤とが分離しているような大きな層序の中断をつくりあげることが、不可能である。このような現象は Haarman および Lugeon も注目している。

絞り出し作用とそれに伴う陥没 塑性地層は、上部岩石の重さで絞り出され、一層緻密質の層準から押し出される。このような現象は河谷および湖成湖に普通認められ、地層が塑性素材の流動によつて支持を失なうので、隣接地帯の陥没をしばしば伴つている。さらに火山礫が泥火山から絞り出されて放出される時も、隣接地帯には、崩壊によつて向斜地帯が形成され、その中央部では、岩層の傾きは、翼部と同様に急である。

Van Bemmelen は次のことを報告している。西部プログ山の山腹では、始新世の塑性粘土が、チューブから絞り出された練歯磨のように、火山生成物の天盤から押し出されている。Bonte および Goguel は Vignoble 地帯では下部石灰岩から泥灰岩が押し出し、そのために地域的に陥没が起こり、緩かな広向斜状地帯が形成されている。

Hollingsvort は、類似の現象が Nortkempton で観察されると記載している。この地域では、黒ジュラ後期の塑性粘土が石灰岩および酸化鉄を覆っている。粘土は、押し出され、小褶曲を形成し、隆起河谷へ移動しているが、分水嶺および河谷の斜面上部では、剛性岩石が同時に褶曲し、侵食河谷によつて解析され、階段状断層が発達している。この構造を指摘している Khills は、次のようにいつている。類似の現象は、こんにち考へられているよりも遙かに広く分布しているはずである。

このような場合には、侵食は、岩石になんらの接線圧縮応力の跡が認められないで誘発された褶曲生成過程に活発に作用を及ぼしている。河谷が深くなり、押し出し素材が絶えず取り去られるにしたがつて、重力均衡がますます乱される。地表上に露出する塑性地層——集水凹地水準——に及ぼす上部岩石の圧力は、高原および山の相対的高さが高まるにつれて上昇する。これと同時に、河谷における地塊の押し出しは、益々強まり、岩石の擾乱はさらにはなはだしくなるが、分水嶺地帯では、向斜状地帯は、一層狭隘急傾斜となり、そのために地層の陥没は一層進捗する。したがつて縦谷の氾濫地上に露出する岩石層は、2層からなり、その下部は塑性岩石より、上部は剛性岩石から構成されているならば、褶曲地帯は、常に射出 (ejecioive) 状態となり、崩壊地形を示す。背斜構造の比較的急傾斜の中心部——しばしば著しい不調和状態を示す——では、河谷に現われ、一層緩傾斜の向斜構造は、分水嶺地帯にみられる。このような結論は、基盤と引き離された褶曲構造に触れていないことは、もちろんのことである。