

〔特別講演〕 地殻変動による岩石の変形と破砕

東京大学理学部地質学教室, 木村敏雄

日本のように何度もうくりかえし激しい地殻変動を受けたところでは、岩石の多くは多少とも変形している。変形のていどの違い、変形の種類の違いによって、同一種の岩石であっても岩盤力学的挙動は異なるはずである。したがって、花こう岩という種類の岩石をとってみても、それかどのような変形を受けて来たかの違いによって、岩盤力学的挙動は異なるはずである。岩石はそれらの変形の仕方によって、岩盤クリープや岩盤地すべりをおこしやすいものがある。また変形様式の違いが風化生成物の違いとなり、地すべりや山くずれのおこり方の違いとなっておりこれら。また最近では第四紀断層(活断層と同じ、活断層の定義は第四紀に活動したようなこの第四層である)と建造物の間隙が重要課題となっている場合がある。このようにして地殻変動によっておこった変形、おこり可能性のある変形は、いくつかの面で土木工学とかがかり合っている。

(I) 地下の温度・圧力と岩石の変形様式 圧力(静水圧)または温度が低い条件下では岩石はもろく破壊するが、これらが高い条件下では塑性変形するところが実験によく確かめられている。ある一つの地成をみると、地下深いところは温度・圧力は高いので、岩石は地下深いところはほぼ塑性変形しやすいと云える。(地壳の隆起のような瞬間的変形と見ればこの限りでない) 岩石がもろく破壊するとき破断面に沿っていくつかの岩片に割れ、ふつうは離れ離れになる。またわが国結核を失った破壊がある。一方塑性変形の時は鉱物粒と粒と、または粒内に微細な破断面を生じ、無数の破断面に沿う変位によって岩石は変形する。そして岩石は全体としては同結核を失はない。(これが地下深いところはほどより多数の、より微細な破断面に沿う変位がある) かつ同結核を失はない変形があることとみてよい。これよりさらに深い地下深所では粒子の変位と共に鉱物は再結晶し、変成岩ができる。この様な岩石が全体としての同結核と強く保つことはいうまでもない。

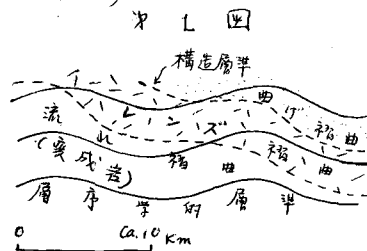
このような地下深所から地表近くにかけての變形様式の違ひは、大断層に沿つて破壊變形の際にあつたものでなく、褶曲變形の際にもできる。地下深所では岩石の構成粒子は流動的に変位しやすいので流れる褶曲ができる。これにはふつう鉄物の再結晶を伴う。これより上層部では岩石は大小の表塊または微細な老片に割れ、これが相

表 1 中

褶曲変形	変形のしかた	断層破砕変形
曲 ↑ 褶曲 ↑ 曲 ↕ V字型褶曲 断層褶曲 (ハネ状褶曲) ↕ 流れ 褶曲 (スレート) (変成岩)	低 ↑ 柔らかい、大きい 破断面をもつ変形 ↓ 微小な細かつ多数の 破断・すべり面をもつ変形 ↕ 再結晶と伴う変形 ↑ 高 ↓ 非面状変形 ← 面状変形 →	上 (親水による粘土化) 泥ばんのり、細片化 ↓ 層 粒 角 レキ 規則配列 断層 断層時非面状破砕岩 断層角レキ岩 再結晶 規則配列 “片理面” ↑ ↓ マイロナイト

対称にすれど、 η は褶曲ができた
 (初期褶曲、レンズ褶曲)。さ
 らに上層では褶曲が管理面に沿
 つたのみあつた曲が褶曲ができ
 る。このようにして、地表の際
 のような局部的変形を除くと、
 地下深々ところから浅々ところ
 にかけて第1表に示すような異
 なつた様式の褶曲変形や、大断
 層に沿つた長期間にわたつて
 の歪みによつてあつた(大断層さ
 い)変形を生ずる。

(II) 異なる褶曲様式の地帯における分布 上に述べた地下深所というのは数kmあるいはそれ以上の深さのところをさす。しじがつて変形した岩石が、変形したときの位置に留まつたとすると、地下深所とこゝで正さな変形様式は地帯にあらわれない。長期間かゝつて地盤が上昇し、しかも上層部が侵食し去られるときには、地下深所や比較的深所ので変形した岩石が地表にあらわれる。古い地質時代の褶曲地帯ではこのようにして地下深所で変形した岩石が地表にあらわれている。褶曲地帯の中枢部といわれるところには、しばしば変成岩が分布するが、これがほぼ流氷褶曲地帯にある。そしてその外側に常規褶曲やレンズ褶曲の帯があり、さらにその外側に曲げ褶曲帯が分布する。ただし大規模な押しつぶし層があるところではこの規則正しい分布が乱される。褶曲後に再び後の時代の褶曲運動を告げるときも、この規則正しい分布は多少とも乱される。日本の古い地質時代の褶曲帯では後の時代の褶曲変形が重なり合つて褶曲様式の規則正しい分布が乱されていることが多い。しかし田子帯や瀬戸川帯のように比較的新しい時代の褶曲帯では、後の時代の変形を受けける期間が短いために、上に述べたような規則正しい分布が比較的良好に残されている。西南日本の内帯東部、南部北上山地の中古生層においても、主要褶曲運動後の変形のことが殆どで、このような規則正しい分布を認めることができる。



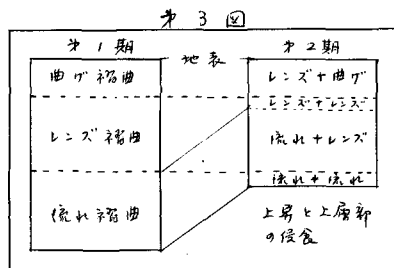
(III) 異なる様式の変形の重ね合せ 褶曲、断層、新れ目の研究の弊として、ある地帯のものが一つの變形又は同一応力場のものとてできたと仮定して研究が進められている場合が多い。とくに、一旦造山運動を受け、若しくは褶曲し、花こう岩の侵入を受けたいわゆる“同化”した地帯は、地塊運動を告げることはあつても、もはや褶曲するとはなないという考えと強くもつていう人が多い。しかし日本の地質構造を正確すると、このような考え方は大抵の場合正しくなる。異なる様式の変形の重ね合せが非常に著しく、花こう岩も褶曲していると思われる場合がある。このような変形の重ね合せは日本における岩盤の力学的挙動と複雑にしていることが多いと思われる。変形の重ね合せの一つの形式は、地塊運動や褶曲運動などの変形運動帯の移動によるものである。それは西南日本において明瞭に認められる。

オ 2 国

変形						
オ1期	地塊	地塊褶曲	褶曲			
オ2期		地塊	地塊褶曲	褶曲		
オ3期	変形運動帯の移動			地塊	地塊褶曲	褶曲

ので、この変形運動帯もまた移動した(オ2国)。かくして、かつて著しい褶曲変形帯であつたとこゝが成る場合には後に地塊褶曲帯となり、さらに地塊運動帯に變つた。そしてかつての褶曲変形帯といくつかの地塊に分裂し、その地帯の著しい変形運動としては、地塊間の断層運動があつただけとなつた。さらにまた成る場合には、かつて地下深所にあつて流氷褶曲を受けれた部分も、後に上昇してその上層部が侵食し去られ、再び褶曲運動を受けれたためにレンズ褶曲を帯び、レンズ状断層を生じた(オ3国)。かくして変形の重ね合せにより、変成岩(ふつと流氷褶曲を示す)がレンズ状大形のブロックの集合体と化していることも少なくなつた。

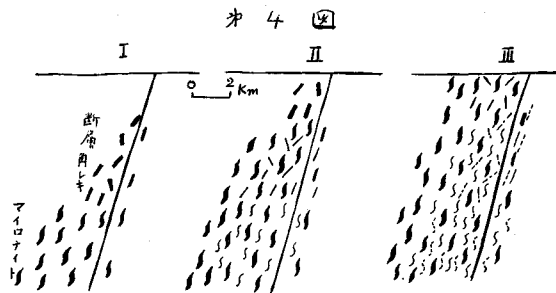
変形の重ね合せの他のもう一つの形式は、一旦造山運動を受け、花こう岩が侵入し、いわゆる“同化”した地帯が再び褶曲帯と化した場



合である。この地帯では花こう岩などの基盤岩類も、被覆層と共に褶曲する。被覆層が厚い場合には基盤岩類もまた高い圧力、温度の条件下にあるので褶曲するはずのものなのである。このような例は、東北日本の日本海側から関東山地にかけての中・古生界基盤岩類にみられる。東北地方の日本海側では新第三系はほぼ南北の褶曲軸をもつて褶曲（ある場合には明かに地塊褶曲）している。基盤としての中・古生界もまた南北に近い軸をもつて褶曲しているので、中・古生界の褶曲が中新代末までの褶曲運動（以下）によってできたものが、新第三系の褶曲も兼ね合せているかどうかの判定はむづかしい。しかし関東山地の中・古生界が新第三系に南北方向の軸をもつて褶曲していることがよく知られているが、これが新第三系に南北の褶曲軸をもつて地塊褶曲をしていることがわかって来た。この褶曲が中・古生界岩盤などのような影響とよって起こっているかはまだよく調べられていないが、少なくともこの褶曲軸に沿っては、地塊褶曲に伴う破断が特に発達している可能性がある。

新潟県北部のぶどう山塊ではその西縁の花こう岩に、常断褶曲、同結性として規則正しい配列の破断、不規則な破断、地表近くでの断層がある。地表近くで生じた断層により、大地塊の中に数10m程度の大きさの小地塊を生じている。その小地塊は更に小さい岩塊に分かれ、その岩塊の中に同結性をもつ規則正しい配列の破断が認められる。このような異なる種類の破断は、地塊の上昇と上層部の侵食を伴いながら、この地帯が長期間にわたって変形運動を受けた結果、地下深所での変形から浅所までの異なる変形をつまみごとに受けた結果生じたものと解される。そしてこれらの変形は新第三系の褶曲と同時にあるいは基盤での変形でもあらうと思われる。

長い期間にわたって、大断層に沿って断層運動に伴う変形があり、断層の片側または両側の地塊が上昇しつづけて、かつその上層部が侵食されていくとき、異なる種類の断層破断変形の兼ね合せを生ずる（第4図）。例之ば三重県熊見谷付近では、中央構造線の北側に数kmのはんにわたってマイロナイト（鉱物結晶までもが破断させられ、かつ固く固結し、片理面状の配列をもつ破砕岩）があり、そのマイロナイトも中央構造線の北2kmほどのはんにわたって同結性をもつ断層角しを帯び変形を受けている。断層粘土帯は幅数m以内のせいまいはんに限られる。断層粘土が地下深所まで連続して存在すると考えている人があっても、細分化された鉱物の粘土化は水の存在によつてはじめて生ずるものである。断層粘土はふつう地表面近くとろで生成される。このように異なる種類の破断岩が現在地塊に共存するたが、これらの



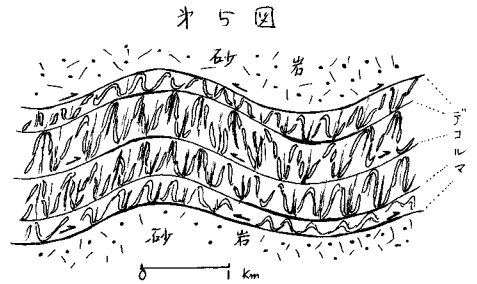
同一時期に同一断層で（地表近くで）生じたと考える人がいるが実際にはそうではない。第4図左端に示すように地下深所とろで数kmのはんにわたってマイロナイトを、それより上層部で約2kmのはんにわたって同結性をもつ断層角しを帯び変形を、さらに地表面近くで断層粘土帯を生じたものであらう。同結性を失った断層角しは中央構造線より南には認められず北側にはない。幅がせいぜい数mにすぎない後期の断層運動によつて消失したものであらう。中央構造線では北側の地塊の方向の昇りが大きかつたために第4図に示すようにかつマイロナイト変形帯がみつたところから断層角しを帯び変形帯となつていく。

(四) 褶曲に伴う破断と断層運動に伴う破断。褶曲に伴うものは変形のうち流れ褶曲や常断褶曲のうちのものは変成岩やスレートなど新しい岩石を作るものであつたから、岩盤力学的には変形（変成）と岩石というよりは新しい岩石としてとりあつかふべき。ただし結晶質岩やスレートでは層状にくらべ異方向性が著しく強くなつていくことは留意する必要がある。さらに流れ褶曲や常断褶曲においても同じな褶曲の軸部では破断が著しいことが多く、しばしば断層帯とよばれる。四国の三ツ川帯南部の清水「構造帯」はそのような例の1つである。

レンズ褶曲においては褶曲軸部にきわめて著しい破断を生じているばかりでなく、翼部でも破断が認められる。

したがってこれら全体が断層破砕帯と見られることが多い。しかしこの破砕帯は大断層に沿う破砕帯とは異なり、第5図に示すように地下深部まで到達するとはない。砂・頁岩互層のようにレンズ褶曲をふくみやすい地層があるとき、破砕帯の狭い部分は第5図に示すように層状に分布する。そして堅硬なレンズ体と軟弱な破砕帯もつ岩塊の不均質な集合体を作る。レンズは時に数10m以上の大きさをもつ。

砂・頁岩互層のように内じた褶曲を作りやすい地層の厚層があるとき、第5図のように小褶曲の軸面にほぼ垂直の断層面ができて、それはほぼ上下の地層が別々に傾斜して褶曲することがある。このような断層面をデコルマと呼ぶ。デコルマはまた厚い砂岩層と砂・頁岩互層のように褶曲に際しての挙動の異なる地層の境界部でもある。デコルマは時に大押しつぶせ断層と見られるが、連続性はふつう大きくない。デコルマは結晶片岩帯にもレンズ褶曲帯にもできる。若しくは同じ小褶曲が発達するところにはほとんど常にデコルマがある。



断層運動に伴う破砕については従来から多くの人によって述べられているので、ここでは多くを述べない。たゞ上に述べたように褶曲に伴って破砕を生ずるのであるから、これとの識別が必要であることと強調しておく。断層運動に伴う変形については、今まで述べた歪みの変形とは異なる問題がある。すなわち原子炉のように精密な配慮を必要とする建造物と地層断層との関係といった現在の施設整備の問題に関連した問題である。この点についてはこれから研究を必要とするが、(1) 主要断層、派生断層、準断層の識別を如何にしておこなうか、(2) 旧中世断層の帯の起る、(3) 地層の厚さの差と断層の、地層に降して付着して動く可能性がどうか、といった断層の評価はいかにするかの問題がある。さらに地層の厚さに活動する可能性がどうかとして、予想される破砕のいかに見てもりに地質学が役立ち得るかどうかの問題もある。

(V) 変形した岩石と岩盤クリープ、岩盤地すべり 異なる岩石は、同一気候・地形条件であってもそれぞれ異なる風化をする。同一岩石であっても異なる変形をした岩石はまた異なる風化をして、異なる風化生成物を生ずる。そして地すべり、山くずれ、土石流のふくみやすさなどに違いを生ずる。これについては既刊の機会に述べることがあるので、ここでは岩盤クリープ、岩盤地すべりについて簡単に述べておく。スレート地帯、結晶片岩地帯、レンズ褶曲地帯では、比較的深層での岩盤クリープや岩盤地すべりが多いにもかかわらず、見逃されている場合が多い。そして実際はクリープした岩盤であるにもかかわらず、安定岩盤であるとみなされている場合が少なくないようである。

岩盤褶曲層はへき斜面で、それに斜交した面に沿って折れ曲るような褶曲しやすい。そしてクニックプレーンを作りやすい。これは地殻変動というまでもなく、地表近くでの重力による岩盤のたわみによっても容易に生ずる。クニックプレーンに沿って岩盤はすべり、多数のクニックプレーンによってクリープもあつた。南部以北の地や静岡・山梨県下の濃戸川帯などのスレート地帯にこのような現象がしばしばみられる。

結晶片岩地帯やレンズ褶曲地帯にはすでに述べたように褶曲軸面にほぼ垂直にデコルマが発達することが多い。褶曲軸面はしばしば鉛直の姿勢をとり、デコルマはしばしば水平かやや傾く面となる。デコルマに沿っては細粒破砕帯ができていることが多いので、地表近くでは地下水の影響を受けて粘土化がある。かくしてデコルマはすべり面となつて上層の岩盤が一体となつてすべる。大レンズが発達するレンズ褶曲帯においても、大レンズ体はしばしば小断層に沿ってすべり、滑るが、この際も大レンズは時に安定岩盤と見られる。

以上のように地殻変動によって生じる岩石の変形は、風化、クリープ、地すべりなどのうちにも岩層の関係をいつているのである。

Deformation Styles of Rocks Produced by Earth Movements

Toshio KIMURA (Geological Institute, Univ. of Tokyo)

When in the uppermost part of earth crust a thick pile of rocks, several thousands meters or more, is suffered from earth movements, rocks in its shallower part are principally deformed by displacements along rather few and larger faults and fractures, on the other hand rocks in the deeper part along numerous and much smaller sliding planes and fractures. Rock forming minerals are generally recrystallized during the deformation to form metamorphic rocks in the deepest part. The rocks in the shallower part produce often aggregates of incohesive blocks with each other, and those in the deeper part retain the cohesiveness, during and after the deformation. In this way different kinds of deformation styles have been produced by foldings as well as by cataclasis along faults; flow folds in deeper part through shear- or lens-folds to flexure folds in shallower part by foldings, and mylonites in deeper part to fault breccias or incohesive pulverized materials in shallower part by faultings.

Different kinds of folding styles are arranged to form rather regular zonal distribution in some fold zones in Japan. However, because earth movements were repeated, rocks of old geologic ages have been often suffered from different styles of deformation in different ages. Therefore, the rocks, which have been deformed in cohesive style, are often suffered later from the deformation of incohesive one to form aggregates of fractured rock masses. Crystalline schists and slates which have been produced by flow folding and shear folding respectively are often fractured by minor faults caused by lens folding in later stage. Mylonites are also often fractured by later cataclasis. Such superposing of shallower style deformation upon deeper one is produced when an uplifted area has been eroded and former deep-seated deformed rocks have been re-deformed in shallower condition. In Northeast Japan, granites and intensely folded Paleozoic and Mesozoic basements were also re-folded during the folding of the overlying Neogene strata.

Intense fracturing and minor faulting occur during folding in some cases. They are remarkable in lens folds. Such fractures and minor faults are often erroneously taken to be crushed zones along major faults, but they are limited within a horizon of lens folds and do not attain to deeper earth crust. Décollements which are formed nearly perpendicular to axial planes of minor closed folds occur often in the areas of flow and lens folds in Japan. They are sometimes erroneously taken to be major horizontal overthrusts.

Deformation styles of rocks are also related to the styles of massmovements of rocks and soils on the earth surface. Rock creeps and rock slides appear to occur often along décollements in crystalline schists and strata deformed in lens folds style, and along knick-planes in slates. Masses of rock creeps and rock slides seem to have been often taken to be stable rock masses.