

氏名・(本籍)	ふく どめ たか あき 福 留 高 明
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理博第 5 4 1 号
学位授与年月日	昭和 5 2 年 3 月 2 5 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科専攻	東北大学大学院理学研究科 (博士課程)地学専攻
学位論文題目	宮守超塩基性岩体の構造岩石 学的研究
論文審査委員	(主査) 教 授 北 村 信 教 授 小 高 民 夫 教 授 高 柳 洋 吉 助 教 授 大 貫 仁

## 論 文 目 次

- I まえがき
- II 地質および岩石の概要
- III 岩体の内部構造と運動像
- IV 流動機構
- V ま と め
- VI あとがき
- (引用文献)

# 論文内容要旨

造山帯に分布する「アルプス型かんらん岩体」の侵入機構の解明は、造山過程の中での超塩基性岩活動の必然性、さらには造山運動の原因を追求する上で重要な課題のひとつである。また、上部マントルは主としてかんらん岩から構成されていると考えられているので、この「アルプス型かんらん岩体」は上部マントルのレオロジカルな性質や運動過程を明らかにする上で有力な情報伝達者となる。筆者は、このような観点から、「宮守超塩基性岩体」を対象を選び、岩体侵入時の運動像および流動機構を明らかにすることを目的として研究を行なった。

## 1 岩体の内部構造と運動像

本岩体中には、かんらん石の粒界定向性によって規定される片理面 ( $S_1$ ) および線構造 ( $L_1$ ) が発達する。かんらん石の粒形には2つのタイプがみとめられ、ひとつは *flattening t-type* のひずみ楕円に近似されるもので、他方は *B-tectonite* 的特徴を有し *constriction type* のひずみ楕円に近似されるものである。これらの構造要素の統計解析に先立ち、かんらん岩の CRM 方位を測定した。その結果、磁化方位は東北日本白亜紀の平均的方向にほぼ集中し、帯磁後のブロック運動による岩体の回転はさほど著しくなかったことが確認された。

詳細な運動学的解析は、構造・岩質ともに保存の良い Subarea 1 の区域について行なった。この区域の  $S_1$  に関する  $\beta$ -ダイアグラムは *elliptic conical fold type* の特徴を示す。 $L_1$  のパターンとあわせてみると、この区域は放物面状の構造で特徴づけられる。

かんらん石のキンクバンドを利用してすべり系の方向をもとめた。キンクバンドの外回転軸は  $[001]$  と  $[010]$  の間に帯状分布し、KBBの極は  $[100]$  のまわりに集中することから、すべり系は  $\{okl\}[100]$  のペンシルすべりである。このことはかんらん石粒界定向性の *B-tectonite* 的特徴と調和的である。すべり面は  $\{okl\}$  に関して一様な頻度分布をとらず、 $(010)$  を中心とした正規分布を示す。個々のかんらん石について結晶の伸長方向とすべり方向との関係を見ると、両者はつねに密接な関係をもちながらもほとんど一致することなく斜交する場合が多い。このことは、かんらん石の粒界定向性が晶癖に支配されてきたものではなく、また純粋剪断変形によるものでもないことを示している。このような斜交関係は単純剪断変形によってのみ説明できる。したがって、かんらん石の伸長方向とすべり方向との位置関係から剪断のセンスを決定することができる。すなわち、かんらん石の格子フェブリックダイアグラムを検討することにより、岩体の各部位における剪断面 ( $S_L$ )・剪断方向 ( $L_c=Z\text{-max}$ )・剪断センスの平均的方位が決定される。この方法によりもとめた剪断センスの subarea 1 での分布をみると、南半分で「正断層型」のずりセンスを示すのに対し北半部では「逆断層型」のずりセンスを示している。 $S_c$  に

に関する $\beta$ -ダイアグラム上の極大域および $L_c$ との極大域は、ばらつきはあるものの、 $\approx N20^\circ W, 30^\circ S$ にあり、この方向が岩体の運動方向(進入軸)をあたえる。この方向は $S_1$ に関する $\beta$ -ダイアグラム上の楕円の中心に一致する。

以上のことから、次のような運動モデルが導かれる。剪断方向・センスのパターンおよび $S_1 \cdot L_1$ の放物面状パターンは、楕円管内を粘性流体が流れる場合の状態に近似される。すなわち、管の中の流線(剪断方向)と片理面との関係は剪断方向とひずみ楕円体の長軸とのなす角度で与えられ、たとえば変形が単純剪断のみになる場合(層流)あるいは流動方向に平行な圧縮ひずみがかかる場合には、片理面のパターンは放物面となる。このような流れは流体力学でHagen-Poiseuille laminar flowとよばれるものに相当する(Fig・1)。この流れは円管の外部からの力によって生じるのではなく、流体自身の圧力勾配によって生じる。そのような地質構造体は、密度差にもとづく浮力による岩体の上昇(ダイアピル)である。この運動は主として上部マントルあるいは地殻最下部付近で行なわれたものと推察される。また、地殻中にとり込まれてからのかんらん石に対する重複変形はわずかなものであったと考えられる。地殻浅部では低温・ $H_2O$ の影響のために容易に蛇紋岩化が進む。そのため、変形の主役は蛇紋石にうつり、ほとんどのひずみはその部分で解消してしまうからである。

## 2 流動機構

固体物質の流動変形において転位は重要な役割を演じている。ことに変形の律速過程が結晶内変形の場合には転位の運動速度が系全体の変形速度を支配する。最近、かんらん石の高温・高圧下での変形実験が行なわれてきており、またこの変形かんらん石の電顕下での観察により、変形条件と転位構造との対応が明らかになってきている。本研究では「酸化デコレーション法」という新しい方法により転位の直接観察を行ない、その結果次のような転位構造が観察された。転位線の結晶学的方位は、らせん転位の場合 $l = [100]$ 、刃状転位の場合は $l = [okl]$ でこのうち $[001]$ 方位のものが卓越する。転位の形状は直線状のものが多く、混合成分をもつものはごくわずかである。また、刃状転位とらせん転位の比率を比べると刃状転位の方が圧倒的に多い。本岩体の転位構造を特徴づけるものはすべり帯(slip band)の発達とkink wallの形成である。すべり帯は巾およそ $2 \sim 8 \mu m$ のものが $\approx$ 等間隔( $10 \sim 20 \mu m$ )に平行配列する。すべり帯の内部では刃状転位がechelon状に線状配列をなしており、これはChristie et al.(1964)が提唱した変形ラメラの転位モデルと一致する。すべり帯の結晶学的方位は必ずしも低指数の面ではなく、むしろ高指数の面であることが多い。すべり帯はすべり面とは $20^\circ \sim 30^\circ$ 位の低角度で斜交する。また、一部の結晶では約 $45^\circ$ で交差する二方向のすべり帯のセットが発達し、三次元的には平行四辺角柱状のセル構造を示す。kink wallは $[okl]$ 刃状転位の $(100)$ 面への平行配列によ

て構成されている。wall の外側では、直線状のらせん転位が wall に垂直に配列するが、wall との接点近くでは急角度で bowing out しその先端は wall において刃状転位にくぎづけされている。本岩体ではこれらのほか、tangling, dipole, circular loop, rectangular loop, kink, pile-up, net work sub-boundary の諸構造が観察された。また、kink wall の間隔および転位密度は、それぞれ  $150\mu\text{m}$ ,  $1 \times 10^7 / \text{cm}^2$  をモードとする正規分布をなす。

変形応力  $\sigma$  と転位密度  $N$  との間には次の関係がある。

$$\sigma_1 = \beta \mu b \sqrt{N} / (1 - \nu)$$

また、亜結晶粒の径  $d$  も変形応力に依存し、その関係は

$$\sigma_2 = \mu L_0 / d$$

である。上記の値を使って、本岩体における変形応力をもとめると、次の通りになる。

$$\sigma_1 = 250 \text{ bar}, \sigma_2 = 260 \text{ bar}$$

この応力値は、前節で述べたダイアピルモデルの場合、その径を  $100 \text{ km}$  とすると周囲との密度差  $\Delta \rho = 0.10$  によって発生しうる大きさである。また、この密度差は周囲との温度差  $180^\circ\text{C}$  および 1 割の液相の胚胎によって生じることができる。

かんらん石の変形実験とその電顕下での観察に関する最近までの結果を総合すると、変形条件は次の 5 つの領域に区分できる。すなわち、 $\{110\}[001]$  regime, lower  $\{okl\}[100]$  regime, higher  $\{okl\}[100]$  regime, highest  $\{okl\}[100]$  regime,  $(010)[100]$  regime

である。宮守岩体の場合は、すべり系  $\{okl\}[100]$  の活動・すべり帯と kink wall の共存・刃状転位の卓越等の諸特徴からみて、higher  $\{okl\}[100]$  regime のうちの低温側の領域に対比される。

本岩体のかんらん石の転位構造は、変形機構として転位のすべり運動と上昇運動の両方のプロセスが働いていることを示している。すなわち、すべり帯・堆積転位・双極子の存在はすべり運動によるひずみ硬化がおこっていることを示し、kink wall への刃状成分の並びかえ・双極子からの小さいループの放出の存在は上昇運動が律速機構として働いていることを証拠づける。

また、刃状転位の卓越・rectangular loop における刃状成分の卓越は、変形が刃状転位（移動速度のおそい方の成分）によって律速されていることを示す。これらのことからみて、Weertman (1968, 1970) の高温回復クリープ理論の適用が可能である。Weertman は次の式を与えた。

$$\dot{\epsilon} = a D (\sigma / \mu)^{3.5} (\sigma \Omega / kT)$$

この式に実験の場合の応力値  $5 \text{ kb}$  を代入すると、 $T - \dot{\epsilon}$  line は Fig. 2 の①の直線となり転位

構造から推定される変形条件 (Fig. 2のObs) とほぼ同じ領域上にくる。比較上, 他のクリープ理論式に代入した場合は②~⑥となり, 大きく低ひずみ速度・高温側へずれる。このことは, Weertmanの理論式の適用が第一次近似としては適切であることを裏づけるものである。転位密度から決定した応力値を使って, 本岩体の場合の  $T-\dot{\epsilon}$  line をもとめると, その結果は Fig. 2 の①の直線 (鎖線) の通りになる。岩体の定着深度から予想される温度  $T=900^{\circ}\text{C}$  の場合, ひずみ速度は  $\dot{\epsilon}=5 \times 10^{-15}/\text{sec}$  となり, これは径100kmのダイアピルの上昇速度  $V=1.5\text{cm}/\text{year}$  に相当する。

以上のことから, 本岩体はおそらく上部マントルの低速度層に起源をもつダイアピルであり, その上昇力が造山運動における造構力として積極的な役割を演じたものと結論される。

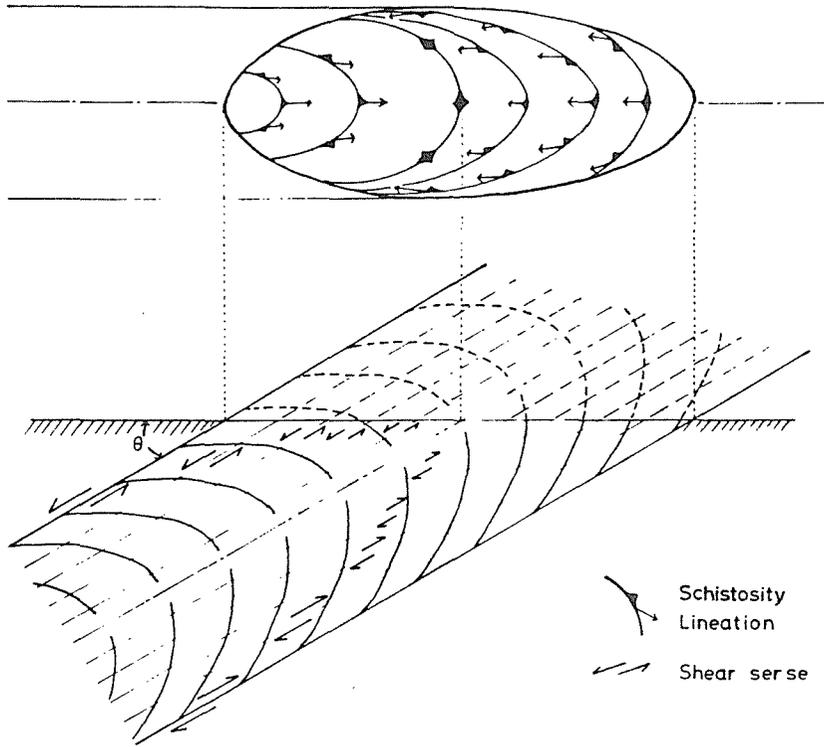


Fig. 1

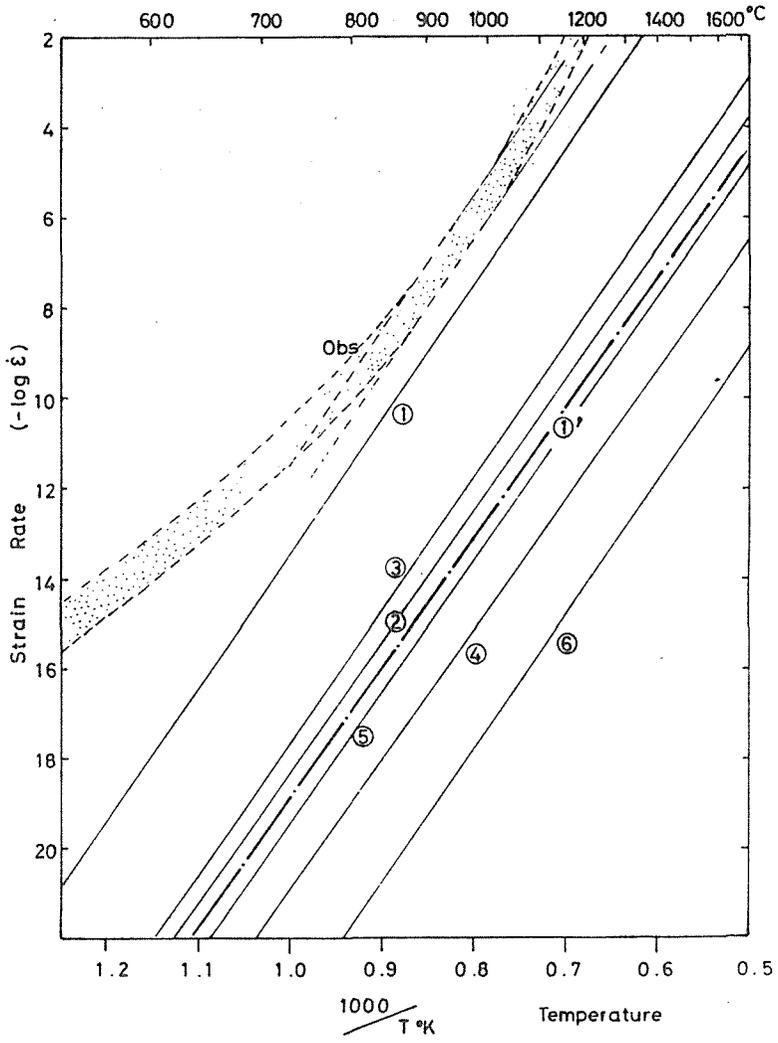


Fig. 2

## 論文審査の結果の要旨

造山帯に分布する超塩基性岩体については、従来からその構造発達史的意義の重要性が指摘されながら、迸入機構に関する研究すら未着手に近かった。また、鉱物の変形様式から変形機構・変形条件を推定する試みは、石英については2.3の例はあるが、かんらん石をはじめとする他の造岩鉱物については皆無に近い状態である。

福留高明提出の論文は、このような状況をふまえ、これまで構造解析の全く行われていない南部北上山地の「宮守超塩基性岩体」を対象にえらび、また方法論的にはPetrofabricsというオーソドックスな手法に加え、転位論・クリープ理論といった境界領域の分野の知識を導入して、巨視的・微視的両面からこの問題にアプローチしたものである。

福留は、まず野外においてすべての構造要素の測定を行ない、次に鏡下においてかんらん石のすべり系・粒界フェブリックス格子フェブリックに関する測定と統計処理を行ない、これらの結果をもとに岩体各部位における運動の方向とセンスを決定した、また、変形機構・条件を検討するために、今回新しく考案した「酸化デコレーション法」により転位の直接観察を行なった。

その結果、とくに次の4点を明らかにした。

- 1) 宮守超塩基性岩体のかんらん石は、すべり方向と伸長方向の関係から単純剪断により変形したものである。
- 2) 本岩体は、片理面、線構造・剪断面・剪断方向・剪断センスのパターンからHagen-Poiseuille laminar flowに近似される。すなわち、その地質学的運動形態はダイアピル運動である。
- 3) かんらん石の転位密度から変形応力は $\sigma = 250 \text{ bar}$ と求められる。この応力値は径100kmのダイアピルを想定すれば、浮力によって充分生ずることのできる大きさであり、この浮力の原因は温度差および液相の賦存にもとめられる。
- 4) かんらん石の転位構造の観察から、変形条件は実験の場合のhigher  $\{0kl\}[100]$  regime の領域に対比できる。また転位構造から、変形律速機構として転位のすべり運動と上昇運動が働いていることが確認され、これによりWeertmanのクリープ理論式の適用が可能である。この式より、ひずみ速度は岩体の定着深度から予想される温度

$$900^\circ\text{C} \text{ の場合 } \dot{\epsilon} = 5 \times 10^{-5} / \text{sec} \text{ と算出される。}$$

以上の結果は超塩基性岩体の迸入機構の研究に貢献するところ大であり、自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示すに充分である。

よって、福留高明提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。