原 著 論 文

田野畑花崗岩周辺の変成岩類について

島 津 光 夫*

(1957年7月26日受理)

On the Thermally Metamorphosed Rocks Surrounding the Tanohata
Granite, Northern Kitakami Mountainland

Mitsuo SHIMAZU

(Abstract)

The contact aureoles of the Tanohata granite which intruded along the boundary between the Paleozoic and the Mesozoic sediments may be divided into three areas. These are the western and eastern areas and the Akka River roof-pendant area.

The contact aureoles can further be divided into three zones; biotite slate-, cordierite spotted slate- and hornfels zones.

The chief components of the rocks in the western area are andalusite, cordierite, biotite, muscovite, plagioclase, potash feldspar, quartz and small amounts of sillimanite. The hornfels of the eastern area differ from those in the western area in lacking andalusite and sillimanite.

The metasediments in the roof-pendant area comprise various hornfels rocks, which are coarser than the normal hornfels, and gneiss and migmatitic rocks. Some of the hornfels rocks have lamina or banded structure thus suggesting their metamorphic differentiation. The metasediments are also accompanied by coarse-grained hornfelsic rock of gabbroic origin and medium-grained granitic hornfels rocks originated from psammitic sediments.

The hornfels rocks from pelitic sediments in the roof-pendant area are mainly composed of potash feldspar, plagioclase, quartz, biotite, cordierite with a little muscovite and sillimanite.

The analyses of the chemical components shows a decrease of Si, and an increase of Al and K, Fe, Mg from the central part to the marginal part of the roof-pendant. In contrast, some hornfels rocks show an increase of Na.

The mineral assemblage of the hornfels rocks in the roof-pendant area is characterized by the presence of potash feldspar and the absence of muscovite, partly replaced by sillimanite. Therefore, the boundary between the roof-pendant area and the western aureole may correspond to the second sillimanite or orthoclase isograd.

* 地質調査所鉦床部

地質学雑誌 第64巻 第750号 1958年3月

In the light of the facies concept, most of metasediments in this area seem to belong to the amphibolite facies, and those in the roof-pendant area represent the higher temperature part of this facies.

I. ま え が き	V. 変成岩の記載
II. 地質の概略	VI. 化学成分と交代作用
III. 変成岩の分布と産状	VII. 鉱物組合せと変成岩の特徴
IV. 地質構造と花崗岩, 変成岩の関係	

I. ま え が き

北部北上山地の東側は、渡辺²⁴⁾により外側侵入帯と呼ばれ、南北に帯状に分布する花崗岩類が分布している。その中の宮古花崗岩は、上部白堊紀の宮古層に蔽われ、侵入時代(先宮古世・後物部川世)が明らかである。ここで報告する変成岩類は、宮古花崗岩の北方に分布する田野畑花崗岩の周辺の熱変成岩である。田野畑花崗岩は、すでに石井・千藤・植田⁷⁾および五十嵐⁹⁾らにより研究され、また岩泉附近の変成岩は、加納^{11), 12)}により研究されている。著者は、さきに報告した球状岩の研究で、その一部を報告したが、ここではさらに全域についてまとめて述べ、この地域の変成岩の特徴を明らかにしたい。

この研究*にあたり、終始、御指導と御援助を頂いた石井清彦先生にあつく感謝の意を表する。また、東北大学八木健三教授・千藤忠昌・植田良夫両助教授、東京教育大学牛来正夫助教授、秋田大学加納博助教授、および都城秋穂・端山好和・黒田吉益氏らには種々御批判と助言を頂いた。化学分析は、熊本大学松本幡郎氏の御好意による。なお、野外作業では国府谷盛明氏、調査地では加藤俊一氏に、研究の整理に当つては、奥海靖・岡野武雄氏らに御援助を頂いた。これらの諸氏に厚く謝意を表する次第である。なお、この研究の費用の一部は、文部省科学研究費によるものであることを明記する。

II. 地 質 の 概 略 (第1図)

この地域は、いわゆる北部北上型の堆積岩を主とし、層位や構造についてはまだ不明な点が多い。おおむね南北方向の帯状の分布を示し、花崗岩の西側は、厚い石灰岩で特徴づけられ、東側にはチャートが卓越している。小貫¹⁶⁾らの研究によると、西側の地層は二疊紀坂本沢層に対比されている。東側の層位はまだ不明な点が多いが、小貫¹⁸⁾らが、小本町北部で滝臀沢層、松前沢層と呼ぶものにおおむね対比され、下部白堊紀と考えられる。西側の地層は、厚い石灰岩・チャート・粘板岩・砂岩・輝緑岩などからなり、西傾斜の単斜構造を示している。一方、東側の地層は、チャート・粘板岩・砂岩などからなり、西傾斜で、北西にはりだしたやや弧状の構造を示している。ルーフペンダント地域の地層は、寅林附近で、西側の地層に連続しているが、中央部の岩相は東側の地層にむしろ類似し、チャート・粘板岩・砂岩・少量の礫岩・シャールスタインなどからなっている。やはり、やや北西にはりだした弧状の構造で、中央部にはゆるやかな向斜構造が認められ、東部は $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ の西傾斜を示すが、一般にゆるやかな傾斜を示している。

田野畑花崗岩は、東側と西側の堆積岩の間を貫き、南北方向に広く分布している。この地域に分布するのは岩体の北半分で、岩相上、次に述べる5つの岩型**に分けられる。川口型は、流理の著しい

* 東北大学理学部岩石教室において、おもな仕事を行った。

** 石井らの区分⁸⁾に従ったが、分布は一部訂正した。

第1図 安家川附近地質図及び断面図

閃雲花崗閃緑岩ないし石英閃緑岩で、数カ所で斑禰岩を捕獲している。茂市型は、川口型に漸移し、流理がわずかに発達する閃雲花崗閃緑岩である。この岩型は、下安家附近では流理がさらにぼやけ、有色鉱物の量も少なくなっている。太田名部型は、茂市型に漸移する閃雲石英モンゾニ岩ないし花崗閃緑岩である。萩生型も茂市型に漸移する、やや優白質の閃雲花崗閃緑岩である。この地域の南に分布する乙茂型の黒雲母花崗閃緑岩中には、ペグマタイトが各所に産するが、この地域では極めて少く、わずかに、川口附近のチャート貫くものと、茂井附近で川口型を貫くものがみられるだけである。

この地域の鉱床の主なるものはマンガン鉱床で、野田玉川で代表される。その他、ルーフペンダント地域に数カ所、東側に2カ所分布している。なお、ルーフペンダント地域には、小規模の接触交代鉱床* が認められる。

なお、この地域の東北部にあたる野田村附近には、白堊紀上部の久慈層および古第三紀の野田層が分布し、また東縁部には、海岸段丘の発達が著しい。

III. 変成岩の分布と産状 (第2図)

田野畑花崗岩は、まわりの堆積岩に対して熱変成作用を与えているが、東側と西側の接触変成帯およびルーフペンダント地域では、それぞれ変成岩の性質がちがつている。西側の接触変成帯は、黒雲母粘板岩・堇青石点紋粘板岩・ホルンヘルスの3帯に分けられ、ルーフペンダント地域はほとんどホルンヘルスからなっている。ただしこのホルンヘルスは、両側の接触変成帯のホルンヘルスより再結晶が進み、粒度も粗く、片麻岩・ミグマタイトを伴っているので、以下では区別して、ホルンヘルス質岩と呼ぶことにする。次に、各地域毎に変成岩の分布・産状および性質を述べる。

第2図 田野畑花崗岩周辺の接触変成帯
(わく内は第1図の範囲を示す)

* 野田玉川鉱床新米田鉱床その他。

(1) 西側の接触変成帯

安家川沿いでは花崗岩に接する川口附近から、ホルンヘルス(巾約 200 m)・堇青石点紋粘板岩(巾約 2 km)・黒雲母粘板岩の順に帯状に分布する。黒雲母粘板岩帯は、西方に広く石灰岩が分布するので巾は明らかにすることができない。この帯の岩石は微細な黒雲母を生じ、灰褐色となつてゐる。堇青石点紋粘板岩帯に入ると、0.5 mm 程度の堇青石を生ずるが、大きさも量もこの帯の中ではほとんど変化がみられない。しかし、基質の部分は内側ほど黒雲母の量が多くなり、白雲母・石英・斜長石なども増えている。ホルンヘルス帯と移過する部分には、約 1.5 cm の大きさの空晶石を含む部分が、3 m の巾だけ生じてゐる。露出の良い安家川沿いで堇青石点紋ので方を観察すると、岩質が砂質になると敏感に消失し、また、同一粘板岩でも劈開や剝理の発達した部分には認められない。砂質岩は黒雲母の晶出が主で、そのほか石英・斜長石が再結晶している。石灰質岩は青灰色で、透輝石・角閃石・石英・方解石および楯石を生じてゐる。ホルンヘルス帯の岩石は塊状緻密・黒褐色で、堇青石および紅柱石を生じ、鏡下では微細な珪線石も認められる。この帯の南部の下江川・新田では、紅柱石を含まないが、さらに南の岩泉附近では、紅柱石および珪線石の量が多くなつてゐる。一部には、柘榴石の著しく発達しているものもみられる。挟在する石灰岩は結晶質となり、石灰質粘板岩は、透輝石・緑簾石などを生じ、砂岩は再結晶して黒雲母・白雲母などを生じてゐる。塩基性火成岩源*の岩石は灰緑色緻密で、橄欖石・輝石の残晶があり、再結晶した緑色または無色角閃石・黒雲母・緑色スピネルなどを生じてゐる。

(2) 東側の接触変成帯

西側と同様に、内側からホルンヘルス帯(巾約 200 m)・堇青石点紋粘板岩帯(巾約 600 m)・黒雲母粘板岩帯の順に分布するが、チャートを多量に挟むため各帯の巾は確かでないが、一般に西側に比べると狭い。黒雲母粘板岩帯・堇青石点紋粘板岩帯の性質は、西側と大差がないが、ホルンヘルス帯には紅柱石・珪線石を含むものが認められない。なお、田老の堇青石岩に類似したものが、南部の榎木沢附近で点紋粘板岩帯中に産している。

(3) ルーフペンダント地域

この範囲は、北は日形井から南は卯子西山に及び、2つの地域にわかれるが、これらは茂井の西方で連続している。構成岩の大部分は塊状で粒度がやや粗く、無色鉱物の量が多い。野外の産状および岩石学的性質から、次のように岩石を区別し、第3図にその分布を示したが、相互の関係は漸移的である。

(a) ホルンヘルス質岩・細粒ホルンヘルス質岩・塊状ホルンヘルス質岩・灰褐色葉理状ホルンヘルス質岩・細粒緻密葉理状ホルンヘルス質岩・縞状

第3図 ルーフペンダント地域のホルンヘルス質岩の分布

1. 外側接触帯のホルンヘルス, 2. 片状ホルンヘルス, 3. 細粒ホルンヘルス(堇青石変斑晶), 4. 灰褐色葉理状ホルンヘルス質岩, 5. 細粒緻密葉理状ホルンヘルス質岩, 6. 塊状ホルンヘルス質岩, 7. 縞状ホルンヘルス質岩, 8. 縞状片麻岩, 9. ミグマタイト, 10. 花崗岩, 11. 石灰岩
- Ka 川口, Ne 年々, Mo 茂井, Un 卯子西山, Sa 下安家, Ni 根井, Ta 玉川, Ow 男和佐羅比山

* 一部は超塩基性岩源と考えられる。

ホルンヘルス質岩・中粒花崗岩質ホルンヘルス質岩・変斑礫岩, (b) 縞状片麻岩, (c) ミグマタイト。

細粒ホルンヘルス質岩として一括したものの中には、いろいろな岩石を含んでいる。卯子西山東方に産するものは、黒雲母・斜長石・石英からなる細粒塊状の岩石で、一部は片状を呈している。また、柎榴石・黒雲母を主とし、ほとんど珪長質鉱物を含まないやや粗粒の岩石もみられる。また、細粒塊状優白質で、おもに珪線石の細柱状の結晶と石英からなるもの、および白雲母にとり囲まれた紅柱石の他形結晶を含むものもみられる。これらの細粒ホルンヘルス質岩は、分布がせまく、灰褐色葉理状ホルンヘルス質岩と移過している。

なお、根井西方の尾根では、堇青石の変斑晶が 3~4 mm の大きさとなる。御沢峠には、堇青石・紅柱石を含む片状のホルンヘルス質岩が産するが、堇青石・紅柱石は白雲母の集合に変化している。

塊状ホルンヘルス質岩は、塊状で、やや粒度があらく、2つの種類がある。その1つは 1 mm 程度の堇青石を斑状に含むもので、安家川沿いに分布が広く、沢内でも東部に分布している。他の1つは内川・玉川附近に産し、カリ長石に富んでいるが、堇青石も含んでいる。**葉理状ホルンヘルス質岩**には、灰褐色のものと、細粒緻密なものがある。前者は、安家川中流に、塊状ホルンヘルス質岩と漸移して産し、細かい縞目が顕著である。縞目は割合に規則的で、やや巾が広くなると片麻岩状を示すが、全体としては塊状で片理がない。これらの縞目は、堆積岩のラミナ (lamina) が変成分化によつて強調されたものと考えられ、塊状の岩石の層理面を知る手がかりとなる。堇青石・カリ長石がかなり多く含まれる。後者は、茂井東方・日形井などにみられ、鉱物成分は前者と変りがないが、やや細粒で緻密である。花崗岩に近接する部分では、さらに堅硬になる傾向があつて、堇青石の量が減つて、石英の量がふえている。花崗岩中に捕獲されているものも同様な性質を示している。

縞状ホルンヘルス質岩は、さらに縞目が著しくなつたやや粗粒の岩石で、茂市の北方・沢向・茂井西方など、花崗岩に接する部分に産する場合が多く、カリ長石の量が多くなっている。

中粒花崗岩質ホルンヘルス質岩は、第4図のように、各所に数 10 cm ないし 2 m の巾で産し、境界は層理面またはラミナの面に大体平行で、泥質岩中に挟在する砂岩から変成したものと考えられ、カリ長石・石英が多い。

第4図 中粒花崗岩質ホルンヘルス質岩の産状

Gh: 中粒花崗岩質ホルンヘルス質岩
Lh: 葉理状ホルンヘルス質岩
Mh: 塊状ホルンヘルス質岩
a: 細粒黒雲母の集合
b: 中粒暗色包か物

変斑礫岩は、安家川の中流附近に、葉理状ホルンヘルス質岩を貫く、巾 1.5 m, 延長 10 数 m の岩床状をなしている (第5図)。粗粒で、周囲の岩石と同様に変成交代作用をうけ、細粒の黒雲母の集合が、数 mm の巾で、変斑礫岩をふちどっている。角閃石・黒雲母・斜長石と多量の石英を含んでいる。

第5図 変斑礫岩の産状
mGb: 変斑礫岩
Lh: 葉理状ホルンヘルス質岩

縞状片麻岩は、年々・寅林・岩泉・猿沢附近に分布している。この岩石にはいろいろな種類の岩石が含まれているが黒雲母片麻岩が主で、細粒花崗岩質、また優白質など見かけが変化する。縞状ホルンヘルス質岩・ミグマタイトに移過している。一部、花崗岩に直接接する所には、半

花崗岩質脈の層々進入をうけた、いわゆる進入片麻岩を産している。カリ長石・堇青石・珪線石を多量に含んでいるものもある。

ミグマタイトは、年々附近・茂井西方に局部的に発達し、茂井西方の花崗岩に囲まれた部分では、縞状片麻岩ないしホルンヘルス質岩に移過している。多くは細粒塊状の岩石で、部分的に中粒～粗粒の岩石が、30～40 cm の巾でレンズ状に生じている。粗粒の部分は、とくにみかけは花崗岩質で、中粒のものと同様に、カリ長石を含まないトロニウム岩質の岩石である。一方、これらと漸移するホルンヘルス質岩には、石英・カリ長石よりなる細脈が不規則に発達するものが多くみられる。

なお、東側の接触帯およびルーフペンダント地域内に産するマンガニ鉄床も著しく熱変成をうけていわゆる珪マンガニ鉄床となつている。

IV. 地質構造と花崗岩、変成岩の関係

花崗岩の進入関係をみると、西側はコンコードント、東側はデイスコードントな関係を示している。西側の川口附近では地層面・接触面は、花崗岩の流理面と平行で、西に傾斜している。年々では片麻岩の線構造は北西で、花崗岩のそれと一致している。中央のルーフペンダント地域は、デイスコードントに貫かれ、内川附近では、花崗岩が10数mのチャートの岩塊を数カ所で捕獲している。茂井附近では、花崗岩の流理が堆積岩との境界に大体平行している。

ルーフペンダント地域のホルンヘルス質岩の構造(第1図参照)は、地層面・ラミナ(ホルンヘルス岩の縞目)および鍵層として厚層のチャート・礫岩・塩基性ホルンヘルスなどを用いて調べた。その結果、南部はやや傾斜が急で等斜構造を示すが、安家川以北では、中央部に2つの向斜軸を持つたゆるやかな褶曲構造が認められた。また、この地域で片状を呈する部分は局部的で、御沢峠・卯子西山附近のようなルーフペンダントの中央部、および年々附近のような石灰岩に接する部分と、茂井附近のような花崗岩に挟れた狭い部分だけに限られている。このうちで、年々・茂井附近は交代作用が著しい。ルーフペンダント地域は、上述の種々の変成岩の分布、構造と、後述の変成作用、交代作用の度合が、中央部や山頂部で低く、それらをとりまく花崗岩に近い部分で高いことから判断すると、ルーフペンダントの底の形が大体上部の構造に対応し、舟底状を示しているものと推定される。そして、ルーフペンダントのおだやかな構造と花崗岩の進入関係からみると、この花崗岩体の進入運動が、おだやかな形で行われたことを暗示しているように思われる。

V. 変成岩の記載

ホルンヘルス 褐黒色・緻密で、黒雲母は0.2 mm 程度の葉片状結晶で、赤褐色を呈し、一定方向に並んでいる。 $r=1.650$ 。白雲母は黒雲母を伴うか、または単独に生じ0.2 mm の片状結晶をなす。堇青石は0.4 mm 前後で、円形で三連晶を示すものが多く、炭質物を包かす。紅柱石は1.5 mm 前後で、ポイキリチックのものが多く、一部は淡緑褐色の白雲母の閃光状集合となつている。珪線石は微細な毛状をなし、おもに黒雲母・紅柱石のへりに生じているが、堇青石のへり、または内部に含まれているものもみられる。石英・斜長石および少量のカリ長石は細粒状をなしている。一部に電気石を含み、炭質物・ジルコンを伴っている。

細粒ホルンヘルス質岩 4種類ほどの岩石をまとめて記載する。その1つは、黒褐色片状で、細粒の黒雲母の片状結晶・石英・斜長石の0.01 mm 前後の粒状結晶よりなっている。斜長石は無双晶が多く、A 双晶を少量含んでいる。炭質物・燐灰石などを伴っている。その2は、黒褐色塊状で黒雲母・石英・斜長石・堇青石・少量の白雲母およびカリ長石を含んでいる。黒雲母は片状、石英は波動

消光を示し粒状である。斜長石はアルバイト聚片双晶が多く、カリ長石はペルト石質で、堇青石は淡褐色ないし淡緑色の白雲母の集合に変化している。この種の岩石に伴い、むしろ粗粒で柘榴石・黒雲母を主とする塊状のホルンヘルスが産している。黒雲母は最大2 mm に達し、ポイキリチックのものが

第6図の a

塊状ホルンヘルス質岩 (32)

第6図の b

縞状ホルンヘルス質岩 (20)

第6図の c 変斑縞岩

第6図の d 縞状片麻岩 (27)

第6図の e ミグマタイト (28)

Kf: カリ長石 Q: 石英
Co: 堇青石 Bi: 黒雲母
Mu: 白雲母 Pl: 斜長石
Hb: 角閃石 Sil: 珪線石
Myr: ミルメカイト

石英は 0.1 mm 前後で、0.3 mm に達するものもみられる。斜長石は石英と同程度の大きさで、A 双晶が多く、大きな結晶はC 双晶で、聚片双晶を示し、まわりにミルメカイトを生じている。カリ長石はペルト石質で、斑状結晶は 0.8 mm に達している。黒雲母は片状である。堇青石は新鮮なものもあるが、まわりや劈開に沿い、淡緑色を帯びた白雲母に変化し、一部は全体が黄色い等方性の物質に変化している。変斑晶をなすものは 0.4~

多く、柘榴石は最大 6 mm で、やはりポイキリチックで石英・黒雲母を包かしている。斜長石は量が少くA 双晶が主である。磁鉄鉱・ジルコンを伴っている。残りの一種は、珪線石または紅柱石を特徴的に含むもので、淡褐色塊状で細粒である。珪線石を含むものは石英が大部分で、少量のカリ長石・白雲母・堇青石を伴っている。珪線石は石英について量が多く、0.4 mm 前後の細柱状の束状集合をなし、単独か、または白雲母と伴っている。紅柱石を含むものはやはり石英が大部分で、少量のカリ長石を含む。紅柱石は他形で白雲母にとりかこまれている。

塊状ホルンヘルス質岩

塊状でやや粒度があらく、堇青石の変斑晶を含むもの(第6図 a)と、カリ長石に富んでいるものとがある。カリ長石に富むものは石英・斜長石・カリ長石・黒雲母・堇青石よりなる。

石英は 0.1 mm 前後で、0.3 mm に達するものもみられる。斜長石は石英と同程度の大きさで、A 双晶が多く、大きな結晶はC 双晶で、聚片双晶を示し、まわりにミルメカイトを生じている。カリ長石はペルト石質で、斑状結晶は 0.8 mm に達している。黒雲母は片状である。堇青石は新鮮なものもあるが、まわりや劈開に沿い、淡緑色を帯びた白雲母に変化し、一部は全体が黄色い等方性の物質に変化している。変斑晶をなすものは 0.4~

0.8 mm に達し、新鮮な卵形結晶で双晶をなし、石英・黒雲母・炭質物を包かし、まわりはいくらか白雲母に変化している。なお、堇青石の変斑晶を含むものはカリ長石の量が少く、初生的な白雲母をいくらか含んでいる。その他一部には、カリ長石・堇青石を含まずに、0.6 mm に達する片状他形の白雲母を多量に含んでいるものがみられる。角閃石を含む塊状ホルンヘルス質岩は、淡褐色角閃石・黒雲母・斜長石のみからなる。角閃石の屈折率は $n_1=1.642$, $n_2=1.660$ である。

葉理状ホルンヘルス質岩 細かい縞目はあるが、片理はなく塊状で、灰褐色のものと、黒灰色緻密なものがある。いずれも粒度は小さいが、後者はより細粒で黒雲母の量が多くなっている。石英・斜長石・カリ長石・黒雲母・堇青石および少量の白雲母よりなっている。前者は、少量の初生的白雲母を含み、柘榴石を含むものもある。後者にはカリ長石を含まないものがある。石英は 0.1~0.2 mm で波動消光を示し、斜長石も同程度の大きさで、粒状他形で、無双晶・A 双晶が大部分を占めている。カリ長石は 0.2 mm 前後で、粒状他形をなし、顕著な微斜長石構造を示す。黒雲母は小片状、堇青石は 0.3 mm 前後で、卵形で新鮮なものも多いが、まわりおよび割目に沿い淡緑色を帯びた白雲母に変化しているものもある。

縞状ホルンヘルス質岩 葉理状ホルンヘルス質岩よりは粒度があらく、片麻岩様であるが、緻密塊状である(第6図 b)。石英・カリ長石・斜長石・黒雲母・堇青石および少量の珪線石を含むほかに、燐灰石・ジルコンを含んでいる。石英は 0.5 mm 前後で、波動消光を示す。斜長石は 0.1~0.3 mm の他形で、A 双晶が多く、0.5 mm の斑晶状のものは聚片双晶が発達し、へりにはミルメカイトを生じているものが多い。カリ長石は最大 1.2 mm で、ペルト石質である。黒雲母は 0.2 mm 前後で片状他形をなし、まわりに珪線石を生じている。珪線石はさらに白雲母に変化している。堇青石は卵形で双晶をなし、新鮮なものもあるが、一部は黄色の等方性物質か、白雲母の集合に変化している。

中粒花崗岩質ホルンヘルス質岩 縞目のないやや優白質の岩石で粒度があらく、石英は 0.2 mm 前後で波動消光を示す。斜長石は 0.3 mm 前後で、他形をなし累帯構造を示し、へりには sodic な rim を生じている。カリ長石は 0.4 mm 前後で石英を包かし、ペルト石質で微斜長石構造を示している。黒雲母は 0.2 mm 前後で片状である。

変斑糲岩* 粗粒で、斜長石・石英・角閃石・黒雲母よりなる(第6図 c)。斜長石は 3 mm 前後のものと、1 mm 前後のものがあるが、いずれも自形ないし半自形で、累帯構造が発達し、C 双晶が多く聚片双晶を示す。石英は間を埋め、斜長石・黒雲母の小結晶を包かし、波動消光を示している。角閃石は 2 mm 前後の他形の破碎状結晶で、緑褐色を示すものと、淡緑色を帯びたカミングトン閃石質のものがある。後者の光学性は $n_1=1.650$, $n_2=1.668$, $2V_r=70^\circ$ である。黒雲母は、角閃石と共に生ずるか、または単独に片状をなして存在する。燐灰石・磁鉄鉱を少量伴っている。

縞状片麻岩 片麻岩状構造をなす中粒ないし粗粒の岩石である(第6図 d)。石英は 0.2 mm 前後で波動消光を示す。斜長石は 0.3 mm 前後で累帯構造をなすものもある。A 双晶の他に C 双晶もかなり含み、へりにはミルメカイトを生じている。カリ長石は 0.2 mm 前後が普通であるが、1.2 mm 以上のものもみられる。ペルト石質で微斜長石構造を示し、ポイキリチックに黒雲母・斜長石を包かす。黒雲母は片状で、珪線石をへりに生じている。珪線石は、そのほか単独に、または白雲母を交代してかなり多量に含まれる場合もあるが、大部分白雲母に変化している。白雲母はポイキリチックで、初生的なものがやや多い。堇青石の量にも変化があるが、大部分は白雲母の集合に交代されている。柘榴石を少量伴うものもある。ジルコン・燐灰石・石墨などを伴っている。

* 川口・茂井附近では、川口型の花崗岩中に斑糲岩の捕獲岩が多く、橄欖石、単斜・斜方両輝石、角閃石、斜長石および少量の黒雲母、スピネルよりなる。

ミグマタイト 中粒ないし粗粒で粒状構造を示す(第6図 e)。石英は 0.4 mm 前後で粒に大小があり、波動消光が著しい。斜長石は半自形ないし他形で、C双晶が多く、累帯構造を示す。へりは凹凸があつて、その部分に石英を包かす。黒雲母は 0.6 mm 前後で茶褐色を呈し、片麻岩などの黒雲母と変りがない。ジルコン・燐灰石を伴っている。

成分鉱物の光学的性質は、第1表、容量比は第2表に示す。

第1表 ルーフペンダント地域変成岩の成分鉱物の光学的性質

岩 相	斜長石*	黒 雲 母			カリ長石	産 地
	An %	γ	多色性 (X)	同 (Z)	2 V_{α}	
細粒ホルンヘルス質岩	22	1.646	淡緑褐	緑 褐		安家川 同上 根井西方 卯子西山 安家川
	28	1.645	淡黄褐	赤 褐		
		1.650	黄 褐	濃赤褐		
		1.653	黄 褐	暗 褐		
25	1.657	黄 褐	暗 褐			
塊状ホルンヘルス質岩	32	1.657	黄 褐	赤 褐	80~86	内川 同上
	33	1.657	淡黄褐	赤 褐		
	36	1.652	黄 褐	赤 褐	47~57	同上 同上 内川西方 玉川 内川
	30	1.653	淡黄褐	赤 褐		
	24	1.652	淡緑褐	黒 褐		
	30	1.658	淡褐黄	赤 褐		
灰 褐 色 葉 理 状 ホルンヘルス質岩	28	1.656	淡黄褐	赤 褐	80	安家川 同上 同上 同上
	24	1.655	同上	同上		
	30	1.654	同上	同上		
	28	1.654	同上	同上		
細 粒 緻 密 葉 理 状 ホルンヘルス質岩	D	35	1.653	淡褐黄	52~56	茂井東方 同上 同上
	36	1.656	淡褐黄	赤 褐		
	34	1.656	同上	同上		
縞状ホルンヘルス質岩	E	32	1.656	淡 黄 褐	55~64 53~61	茂市北方 茂井西方 同上 同上 沢向沢 日形井
		32	1.656	淡黄褐		
		30	1.654	同上	同上	
		29	1.657	同上	同上	
		34	1.655	同上	同上	
		28	1.652	同上	同上	
縞 状 片 麻 岩	F	38~43	1.653	淡黄褐	56~58	年々 同上 茂井西方
		33~37	1.650	同上		
		34	1.651	黄 褐	濃赤褐	
ミ グ マ タ イ ト		34~40	1.658	淡茶褐		茂井西方 同上
		42~50	1.654	淡黄褐		

* 浸液法による。

第2表 変成岩(ルーフペンダント地域)の鉱物容量比

	塊状ホルン ヘルス質岩	薬理状ホルン ヘルス質岩 D	縞状ホルン ヘルス質岩 E	縞状片麻岩 F	中粒花崗岩 質ホルンヘ ルス質岩	変斑縞岩	ミグマ タイト
石英	27.2	38.0	37.5	27.4	34.5	42.9	50.3
斜長	24.8	17.0	35.0	19.6	37.2	35.5	39.3
黒雲母	15.4	15.0	6.8	27.0	18.3		
重晶石	8.6	14.0	15.0	14.0	7.2	9.8	10.1
石榴石	3.3	1.2			2.8	11.6(角閃石)	
榍石	18.8	14.0	5.2	9.9			
綠帘			0.5				
其他	1.9	0.9	0.1	0.2	0.8		
			2.0	0.6	2.9		
				0.9			

比較的粒度があらう、測定しやすいものについての値で、かならずしも代表的な岩石の値ではない。

D……F は分析資料。

VI. 化学成分と交代作用

西側接触帯の点紋粘板岩、ホルンヘルス各1箇と、ルーフペンダント地域の泥質岩源ホルンヘルス質岩および縞状片麻岩の代表的標本4箇の化学分析を行った。

各岩石の分析値一重量% (第3, 4表)を, ESKOLA¹⁾の Cation percentage に計算し, イオンの形にし, それを使つて変化図を作つた (第7図)。この変化図が, そのままこの地域の変成岩の成分変化を示すものと考ええることは, 分析の数も少なく無理であるが, 変化の傾向は示すものと考えられる。それによると, 各変成岩の間に, かなり著しい成分変化がみられる*。

まず, 西側接触帯では, 点紋粘板岩に対してホルンヘルスでは, Si が著しく減少しているのに対し, Al, K および Fe'', Mg が増加している。Na は逆に多少減少している。このような著しい増減を, 一がいに成分の供給ということは無理で, 原岩のちがいによるためかも知れない。しかし, それにしても, Si の減少, K, Fe'' の増加は目立ち, その変化の傾向は, 後述するルーフ地域のそれと良く類似している。

ルーフペンダント地域の変化図は, 原岩に近いものとして葉理状ホルンヘルス質岩(D)**をとり, その左側にC, 右側にE, Fを, それぞれ並べて作り, 変化の2つの傾向を明らかにした。それによると D→E, F の場合には, Si の減少と Al の増加, K, Fe'' (および Mg) の増加が特徴的で, Na は減少している。一方, D→C では Si の増加, Al の減少が認められるが, Na (および Ca) の増加が特徴で, K は減少し, Fe'', Mg も減少している。

要するに, 以上の変化は, Al と K または Na の増加とみれば, 領家その他の場合と同様であるが,

第3表 西側接触帯の変成岩の化学成分

	A	B
SiO ₂	73.04	59.24
TiO ₂	0.28	0.55
Al ₂ O ₃	13.93	20.87
Fe ₂ O ₃	0.37	0.44
FeO	3.78	7.09
MnO	0.03	0.03
MgO	1.33	1.86
CaO	0.75	0.73
Na ₂ O	2.17	1.81
K ₂ O	2.32	4.94
P ₂ O ₅	0.08	0.16
H ₂ O ⁻	0.30	0.40
H ₂ O ⁺	0.94	1.52
CO ₂	0.57	0.83
Total	99.89	100.47

A: 堇青石点紋粘板岩
B: ホルンヘルス

第4表 ルーフペンダントの変成岩の化学成分

	C	D	E	F
SiO ₂	67.67	64.85	61.99	54.87
TiO ₂	0.38	0.39	0.50	0.80
Al ₂ O ₃	17.33	17.03	18.83	20.50
Fe ₂ O ₃	0.53	0.33	0.54	0.23
FeO	3.94	5.92	5.53	7.22
MnO	0.05	0.07	0.05	0.06
MgO	1.40	1.40	1.77	2.18
CaO	1.47	1.05	1.05	0.85
Na ₂ O	3.09	2.57	1.94	1.90
K ₂ O	2.35	4.39	4.55	8.38
P ₂ O ₅	0.12	0.15	0.28	0.28
H ₂ O ⁻	0.35	0.25	0.35	0.29
H ₂ O ⁺	0.75	1.54	1.63	1.94
CO ₂	0.49	0.46	0.51	0.29
Total	99.92	100.40	99.52	99.79

C: 塊状ホルンヘルス質岩, D: 葉理状ホルンヘルス質岩, E: 縞状ホルンヘルス質岩, F: 縞状片麻岩 (分析者松本隆郎)

第7図 変成岩の成分変化図 (Cation percentage)

A.....F は第4表に同じ (Fe は Mn を含む)

* 成分の変化を調べる場合に, 原岩の成分を知る必要がある。そのつもりで, 点紋粘板岩を分析したが, かなり珪質で, この地域の変成岩の平均的な原岩の成分を示すものとは考え難い。

** 外部からの成分の供給は少ないものと考えられる。ただし, カリの量はやや高い。

Fe'', Mg の増加は著しく違っている。特に, F における Si の減少, K, Fe'' および Mg の増加は, REYNOLD²⁰⁾ の塩基性前面を想起させる (basification と desilication)。そして, 一方では K 附加の傾向を示すのに対し, 他方 C では, Na および Ca (斜長石の形成) の附加を示している。以上の化学成分の変化からだけでは, この地域の変成交代作用の特徴を具体的に示すことはできないので, 鉱物成分 (第2表参照) の変化や, 産状などを考慮して, さらに検討してみたい。

中央部に局部的に分布する細粒ホルンヘルス質岩には, カリ長石・堇青石が含まれていないが, 葉理状ホルンヘルス質岩になると, カリ長石がかなり多くなり, 15% に達するものもあり, 堇青石も 14% に達している。そして, この岩石には, 堆積時のラミナがもとになって, 変成分化によつて生じたと考えられる縞目があらわれている。しかし, この岩石でも, カリ長石の量がかなり多く, 岩体内部での成分の移動だけでなく, 外部からの成分の供給を若干伴つたものと考えられる。成分の移動はまた, この岩石を貫く変斑礫岩の変化からも窺うことができる。この岩石は石英の量が 35% に近く, カミングトン閃石・褐色角閃石・黒雲母を含んでいる。そしてこれと壁岩の境は, 2~数 mm の細粒の黒雲母の集合にふちどられている。塊状ホルンヘルス質岩では, 石英・長石からなる 2 cm 前後のパッチが所々に生じている。この岩石に挟在する砂岩源の中粒の岩石は, 20% 前後のカリ長石を含み外観も花崗岩質になつていいる。花崗岩に接して発達している縞状ホルンヘルス質岩になると, 縞目の巾が広くなり, カリ長石の増加も目立っている。そして, これに伴うやや細粒で縞状の岩石には, 3~5 mm の巾の不規則な石英・カリ長石からなる網状脈が著しく発達しているものがみられる。縞状片麻岩では, さらにカリ長石の量が増え, 35% に達するものもみられる。ミグマタイトは縞状片麻岩中に発達し, 中粒であるが, その中に 20~30 cm の大きさに粗粒な部分がレンズ状に生じている。このミグマタイトは, カリ長石を含まないトロニウム岩質のもので, このことは, まわりをとり囲む片麻岩が, カリ長石に富んでいるのと全く対称的で, 相補的な関係を示している。

以上のような, 化学成分・鉱物成分の変化をみると, 多少の原岩の差があつたとしても, ルーフペンダント地域および西側接触帯の最内側の変成岩は, カリ交代作用をかなり受けていることが知られる。しかも, 縞目や, パッチ・網状脈の発達のように, 変成分化作用が伴っている。そして, これは花崗岩に近接する部分* で著しく, 縞状片麻岩では, 岩質の変化が著しくなっている。

K, Fe'', Mg が著しく濃集し, 一種の塩基性前面 (basic front) とみられる岩石も, やはり変成分化の産物と考えられ, これに近接して逆に Na, Ca, Si に富んだトロニウム岩質の岩石が産している。

上にあげたような交代作用は, おそらくエマネーションのような形で行われたものと考えられる。これに対し, 年々附近には, ごく局部的にアプライト質脈の層々進入を受けた進入片麻岩が発達している。そしてこの片麻岩の岩質は, トロニウム岩質である。

以上の交代作用が, 増進的な過程で行われたと考えられるのに対し, この地域にはそれらに引続いて, 広く後退的な過程での交代作用も行われたことが認められる。その主な変化は, 堇青石・紅柱石または珪線石の白雲母化である。カリ長石は変化していない。この交代作用は, ルーフペンダント地域全体にわたるもので, 花崗岩に接する附近では, 特に著しく, 一部は西側の接触帯にもおよび, 江川・新田および岩泉などの片状のホルンヘルスの部分にも, 同様の変化が認められる。そして, これらの作用においても K の附加で特徴づけられる。

* 花崗岩に近接するだけではなく, この部分は片状構造があり, 多少の偏圧下に生成されたもので, 物質の移動が著しかつたのも, それに関係があるかも知れない。

VII. 鉱物組合せと変成岩の特徴

この地域の変成岩を、黒雲母粘板岩・堇青石点紋粘板岩・ホルンヘルスの各帯、およびルーフペンダント地域のホルンヘルス質岩に分けて述べてきた。次にそれらにもとづいて、この地域の変成岩を鉱物組合せから考察し、その特徴を明らかにしたい。

外側の接触帯は、堇青石ではじめる線 (cordierite isograd) を境にして、黒雲母帯と堇青石帯にわけることができる。接触帯の最も内側は、西側では、紅柱石とごく少量の珪線石を伴っている。したがって、西側では、紅柱石が堇青石より高温で安定なような分布を示しているが、東側では、最内側でも紅柱石の晶出がみられない。しかし、前述の西側接触帯の内側と外側の2箇の資料の化学成分の違いにもみられるように、また、北上山地の他の接触帯^{12), 25)}では紅柱石(空晶石)が堇青石より外側で晶出し始める場合が多いなどの点から、両者の安定関係は、温度条件より化学成分に支配されているものと考えられる。珪線石も黒雲母のへりに、ごくわずかに生じているだけで、珪線石帯として帯分できるようなものではない。

つぎに、ルーフペンダント地域の変成岩の特徴を述べるが、まず、ホルンヘルス質岩のおもな鉱物組合せを整理して示す。なお、関連があるので、上述の外側の接触帯の泥質岩源のホルンヘルスについても併せて述べることにする。

- a 黒雲母—白雲母—堇青石……………東側ホルンヘルス
黒雲母—白雲母—堇青石—紅柱石—《珪線石》……………西側 //
- b-1 黒雲母—白雲母—《堇青石》—(紅柱石または珪線石)—《カリ長石》……………細粒ホルンヘルス質岩の一部
- b-2 黒雲母—(白雲母)—堇青石—(カリ長石)……………塊状ホルンヘルス質岩の一部、葉理状ホルンヘルス質岩、
細粒ホルンヘルス質岩
黒雲母—(白雲母)—堇青石—カリ長石—(珪線石)……………縞状片麻岩
- b-3 黒雲母—堇青石—カリ長石 } ………………塊状ホルンヘルス質岩、葉理状ホルンヘルス質岩
- b-4 { 黒雲母—カリ長石 } ………………縞状ホルンヘルス質岩、縞状片麻岩
- { 黒雲母—堇青石 }

石英、斜長石はすべてに含まれる。()は少量、《 》は極く少量をあらわす。珪線石・堇青石の白雲母化は一般的であるが、初生的な変成鉱物の組合せをもとにして取扱うことにする。

第8図a 西側変成岩の鉱物組合せ

A: 堇青石点紋粘板岩
B: ホルンヘルス

第8図b ルーフペンダントの鉱物組合せ

C: 塊状ホルンヘルス質岩, E: 縞状ホルンヘルス質岩
D: 葉理状ホルンヘルス質岩, F: 縞状片麻岩

ルーフペンダントの西縁の年々・茂井・茂市附近では、珪線石を含んでいる。とくに年々の縞状片麻岩には多く、珪線石は白雲母を交代したような産状を示している。したがってこれらの部分は、白雲母が不安定になり珪線石を生じたもので、白雲母が安定な組合せ (a の組合せ) を示す外側のホルンヘルスより高い変成度 (珪線石帯) をあらわすものと考えられる。ルーフペンダントのその他のホルンヘルス質岩は、卯子西山の一部を除いては、珪線石を含んでいない。

変成岩の鉱物組合せから、鉱物の安定、不安定の関係を論ずるには、それらの化学成分が基礎になる。そこでこの地域の代表的な分析値を、A—K—F 三角ダイアグラム*にプロットしてみると (第7図), これらの値は、黒雲母・カリ長石・堇青石を頂点とする三角形の中に、かなりまとまって落ちることがわかる。しかし、白雲母と黒雲母を結ぶ線に対しては、D, F はカリ長石側に、その他は堇青石側に位置している。そこで、a から b-3 までの鉱物組合せと三角ダイアグラムに表現される組合せを比較してみると、図上で a (A, B) は明らかに、白雲母—黒雲母—堇青石 (第8図 a) に当り、b-3 (C, D, E) は黒雲母—カリ長石—堇青石 (第8図 b) に相当することになる。b-1, b-2 (F) は、少量の白雲母は残るが、やはり同じ組合せに相当する。すなわちこの関係は、三角ダイアグラム上で、黒雲母と白雲母を結ぶ線の消失 (白雲母が不安定になる) であらわされる。しかし上のような岩石の間にも、白雲母が不安定になり、カリ長石を生じているような関係は直接観察できないが、上述の鉱物組合せ相互の間には、次の式に示されるような関係が成立つのではないかと考えられる。

すなわち、両側の接触帯のホルンヘルスとルーフペンダントのホルンヘルス質岩の間には、上式の左辺から右辺への反応の進行が考えられる。そしてルーフペンダント内では、中央部の b-1, b-2 から周辺の b-3 への増進的 (progressive) な関係が考えられる。

このようにみえてくると、珪線石だけでなく、カリ長石も一種の示準鉱物となり、ルーフペンダント全域と外側接触帯のホルンヘルスとの境に、一つの isograd—YODER, EUGSTER²⁷⁾ および HEALD⁶⁾ の *Second sillimanite isograd* または *Orthoclase isograd*—をひくことができ、ルーフペンダント全体が珪線石帯として帯分することができるものと考えられる。

また、変成相の観点からは、上式の右辺であらわされる組合せ (b-3) は、TURNER²²⁾ などによると輝石ホルンヘルス相にあたる。しかし、この組合せを持つた変成岩に伴う塩基性ホルンヘルスは、角閃石—斜長石の組合せで、角閃岩相 (cordierite—anthophyllite subfacies) の代表的な組合せを示している。したがって b-3 の組合せのような変成岩も輝石ホルンヘルス相を示すものとは考えられない。むしろ、上式の左辺から右辺への変化を示す b-1, b-2 の組合せのものを含めて、角閃岩相の高温部をあらわすものとみた方が良いと考えられる**。

このような問題は、最近いろいろ論ぜられているように、温度条件以外のいろいろな条件に支配されていると思われる。とくに珪線石帯に相当するルーフペンダント地域は、珪線石がきわめて少く、カリ長石が多いが、これは Al_2O_3 が (Mg, Fe)O に比べて少ないことによるため、このほか、上の考察からはぶいたが、b-4 の組合せの変成岩が、ルーフペンダントの全域にわたり広く産している。これは恐らく K_2O が少く、(Mg, Fe)O が富んでいるものであろう。このように化学成分 (ここでは大部分交代作用を受けた最終化学成分) の鉱物組合せに対する影響は、いうまでもなく重要である。また、水蒸気圧の影響*** についても論じられているが、上述のような、珪線石または正長石が、

* $\text{A} = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{CaO} - \text{Na}_2\text{O}$; $\text{K} = \text{K}_2\text{O}$; $\text{F} = \text{FeO} + \text{MgO} + \text{MnO}$.

** 珪線石が角閃岩相の高温部で安定であることは、経験的に認められている (RAMBERG¹⁹⁾, その他).

*** これについては YODER^{26), 28)} の重要な論文があるが、黒田¹⁵⁾, 端山⁵⁾ も最近詳しく考察している.

角閃岩相の高温部で安定に存在するような事実は、水蒸気圧の小さいことで説明されるかもしれない。

つぎに、変成相に関連して、変成岩中の 2, 3 の鉱物の性質について、簡単にふれてみたい (第 1 表参照)。黒雲母は、細粒ホルンヘルス質岩 (b-2 の組合せ) では、屈折率、多色性の変化がみられるが、その他の場合は、大部分赤褐色で、屈折率も余り変化がない。しかし、屈折率が一般に高い (1.650~1.658) のは、化学成分が FeO に富むことに関係があるようである。斜長石の An 成分は b-1, b-2 の組合せを示すホルンヘルス質岩、片麻岩では、22~30 で、b-3 の組合せの変成岩では、28~36 で、やや高い値を示している。累帯構造を示す片麻岩・ミグマタイトでは、最外縁は 33~42 でやや高い値を示している。

カリ長石は、西側のホルンヘルスでは、微粒で確めがたいが、ルーフペンダント地域では、 $2V_a$ の値が 80° 以上 (微斜長石) のものより 60° 以下 (正長石) のものが多いが、測定値が少ないので十分確かとはいえない。鏡下では多くのものが、わずかに微斜長石構造を示しているが、ほとんど大部分が、hemiorthodome parting を持ち、正長石の特徴を示している。b-3 の組合せを持つ縞状ホルンヘルス質岩、縞状片麻岩のカリ長石は、X 線結晶* にも正長石 (単斜) に属している。Orthoclase isograd の場合のカリ長石は、必ずしも正長石という意味には使われていない。HEALD の記載では微斜長石がおもになつていようである。しかし、微斜長石→正長石の転移が、正しい意味の orthoclase isograd かも知れない。なお、変成岩中のカリ長石は、白粒岩相、または、角閃岩相の sillimanite — almandine subfacies では、正長石が安定で、cordierite — anthophyllite subfacies では、微斜長石が安定とされている。カリ長石の鉱物学的研究も最近著しく進歩している。そのような意味で、カリ長石については、ひきつづき検討を加えたい。

さいごに、この地域のホルンヘルスおよびホルンヘルス質岩類と、他の地域の変成岩とを簡単に比較してみたい。遠野花崗岩の北東部、宮古花崗岩、千厩花崗岩**25)、越喜来花崗岩¹⁷⁾などの接触変成帯のホルンヘルスは、黒雲母—白雲母—堇青石の組合せを持つている。遠野花崗岩の西部、竹駒花崗岩の西部の接触変成帯 (いわゆる北上中軸帯¹²⁾) はかなり複雑で、白雲母—黒雲母—堇青石と、黒雲母—堇青石—正長石の組合せの両方が存在することが記されているが、その関係は明らかでない。領家帯^{14), 8)}・阿武隈山地・筑波²²⁾などの片麻岩類は、黒雲母—白雲母—堇青石—カリ長石および珪線石の組合せで、規模こそちがうが、年々附近の片麻岩と良く似ている。これらとちがつて、ルーフペンダントにみられる黒雲母—堇青石—正長石の組合せと似たものをさがすと、足尾¹³⁾・笹子⁴⁾のホルンヘルスに、これに該当するものがみいだされる。この共通性については、端山が指摘しているように、浅所変成の可能性が考えられるかも知れない。そのような意味で、花崗岩の頂部にのるルーフペンダントにおける接触変成作用は十分興味のあるところである。

引用文献

- 1) ESKOLA, P. (1954): A proposal for the presentation of rock analyses in ionic percentage. *Geologica. Geographica*, 38.
- 2) GOLDSMITH, J. R., and LAVES, F. (1954): The microcline-sanidine stability relation. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 5, 1~19.
- 3) 長谷川修三 (1955): 岩手県東磐井郡大東町興田産コランダムおよび灰鉄柘榴石, 岩鉱, 39, 194~203.

* X 線粉末法によると, (130), (130) および (131), (131) のピークが一致し, 単斜カリ長石を示している^{2), 16)}.

** 一部にカリ長石, コランダムに富んだホルンヘルスを産している³⁾.

- 4) 橋本光男・黒田吉益・木村次郎 (1954): 山梨県神金村の石英閃緑岩の接触帯にみられる現象について, 国立科博研報, **1**, 30~34.
- 5) 端山好和 (1956): 変成作用における水蒸気の役割について, 地球科, **26~27**, 19~28.
- 6) HEALD, M. T. (1950): Structure and petrology of the Lovewell mountain quardrangle, New Hampshire. *Bull. Geol. Soc. Am.*, **61**, 43~89.
- 7) 石井清彦・千藤忠昌・植田良夫 (1955): 岩手県北部北上山地田野畑花崗岩体の多様性, 岩鉱, **39**, 177~189.
- 8) 石井清彦・植田良夫・島津光夫 (1955): 長野県伊那地方の領家花崗岩および領家変成岩, 岩鉱, **39**, 123~130.
- 9) 五十嵐俊雄 (1955): 北部北上山地下閉伊東北方の地質および岩石, 東北大学岩鉱教室卒論 (手記).
- 10) 加納 博 (1947): 岩手県下閉伊郡岩泉町近傍の領家類似の変成岩について, 地質雑, **53**, 66.
- 11) 加納 博 (1948): 北上山地岩泉附近の変成岩, 地質雑, **54**, 107.
- 12) 加納 博・関陽太郎 (1954): 北上中軸帯, 地質学会総会地質見学案内書.
- 13) 河田清雄・大沢 穰 (1955): 5 万分の 1 地質図足尾図幅並説明書.
- 14) 小出 博 (1949): 段戸花崗閃緑岩および段戸変成岩類, 地団研専報, **1**.
- 15) 黒田吉益 (1955): 変成相についての一考察, 地球科, **25**, 1~8.
- 16) MACKENZIE, W. S. (1954): The orthoclase-microcline inversion. *Min. Mag.*, **30**, 354~366.
- 17) 岡田 茂 (1956): 花崗岩質岩石の貫入に伴う接触変成作用の地球化学的研究, 地質雑, **62**, 688~699.
- 18) 小貫義男 (1956): 岩手県地質説明書, **2**, 岩手県.
- 19) RAMBERG, H. (1952): The origin of metamorphic and metasomatic rocks. *Chicago Univ. Press*.
- 20) REYNOLDS, D. L. (1946): The sequence of geochemical changes leading to granitization. *Geol. Soc. London Quart. Jour.*, **102**, 389~446.
- 21) 島津光夫 (1956): 北部北上山地安家村産の球状閃緑岩, 岩鉱, **40**, 115~126.
- 22) 杉 健一 (1930): 日本変成岩総説, 岩波書店.
- 23) TURNER, F. J. & VERHOGEN, J. (1951): Igneous and metamorphic petrology. *New York*.
- 24) 渡辺万次郎 (1950): 北上山地の火成活動, 地団研専報, **4**.
- 25) YAMADA, H. (1953): On the thermally metamorphosed rock in Senmaya district, Iwate prefecture Japan. *Bull. Tokyo. Inst. Tech. Ser. B.*, **3**, 1~40.
- 26) YODER, H. S. (1952): The $MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ system and the related metamorphic facies. *Amer. J. Sci., Bowen Volume*, 569~627.
- 27) YODER, H. S. & EUGSTER, H. P. (1955): Synthetic and natural muscovites, *Geochim. et Cosmochim. Acta*, **8**, 225~280.
- 28) YODER, H. S. (1955): Role of water in metamorphism, Crust of the Earth (Symp.). *Geol. Soc. Amer. Memoir*.