日立地方のクロリトイド片岩中に発見された灰長石

Calcic plagioclases associated with chloritoid schists in the
Hitachi District, Ibaragi Prefecture

関 陽 太 郎 (Yotaro Seki)*

Abstract: The modes of occurrence, optical properties and X-ray powder pattern of calcic plagioclases with chemical composition of about $An_{98}-Ab_2$ found in the chloritoid schists in the Hitachi district are described and some of geological considerations are discussed.

緒 言

日立地方のクロリトイド¹⁾片岩については渡辺²⁾及び鈴木³⁾によるくわしい研究がある。本報告では、このクロリトイド片岩中に発見された灰長石の産状、光学的性質及びX線による吟味の結果を記載し合せてその地質学的、岩石学的意義をのべる。

この研究に際して多大のご援助を頂いた渡辺万次郎、鈴木醇、八木健三、都城秋穂、島田衛、加納博及び黒田吉益の諸氏に深く感謝する。

本地方の変成岩・火成岩の概観

日立地方の変成岩及び火成岩については古くより多くの研究が発表されている⁴⁻⁹⁾。ここでは第1図を示すに止め、くわしくのべない。

クロリトイド片岩

典型的なクロリトイド片岩は、主に、石英、緑泥石、絹雲母、クロリトイド、イルメナイト及び少量の曹長石より成る片状の岩石で、第1図に示されているように、大雄院北東から、諏訪鉾山南西までの間に NNE-SSE 方向に配列しつつ分布する。クロリトイド片岩は常に石灰岩と密接にともない、両者は 3cm 又はそれ以上の中で互層していたり、前者が後者中にレンズ状につつまれていることが多い¹⁰⁾。又、クロリトイド片岩の分布は必ずしも大雄院花崗閃緑岩の分布とは一致していないけれども、大雄院花崗閃緑岩

埼玉大学文理学部地学教室

1) 鈴木 (1927) はオツトレライトとよんでいるが、Mn をほとんどもつていないと思われるので、ここではクロリトイドとよぶ (Winchell, 1952, pp. 393-394)。

2) 渡辺万次郎；東北大卒論(手記)，1916

3) 鈴木醇；地質，**34**，83~109，113~131，1927

4) 黒田吉益；地質，**57**，135~142，1951

5) 黒田吉益，倉林三郎；地質，**59**，55~62，1952

6) 渡辺万次郎；鉾山地質，**2**，113~119，1952

7) 島田衛他；日立鉾業所探査課報告，1953

8) 島田衛他；鉾山地質，**5**，102~116，1955

9) 渡辺岩井他；地球科学，**24**，1~11，1955

10) これはクロリトイド片岩の産状として国内、国外をとはず共通したことで、クロリトイド片岩の成因をとくための大切なカギと思われる。

第1図 日立地方の地質図—鈴木(1927), 黒田及び倉林(1952), 島田他(1953)より編集

1. 緑色変成岩, 2. 頁岩・砂岩・礫岩・石灰岩源変成岩, 3. 角閃石片麻岩, 4. 黒雲母片麻岩, 5. 蛇紋岩, 6. クロリトイド片岩, 7. 大雄院花崗閃緑岩, 8. 入四間花崗閃緑岩, 9. 黒雲母花崗岩, 10. 第3紀及び第4紀層, H. 日立市, H1. 日立鉾山, S. 諏訪鉾山, D. 大雄院
矢印は変成岩, 大雄院花崗閃緑岩, 入四間花崗閃緑岩の示す線理を示す。

体と, クロリトイド片岩を含む低度変成岩類とが構造的に完全に concordant であり, 又, 大雄院花崗閃緑岩が最も南西にのび出た部分の両側及びその延長上にクロリトイド片岩が分布するということは注目されねばならない。

鈴木¹⁾によつて発表された本地方の典型的クロリトイド片岩の化学組成は第1表 I, II, III 及び IV に示されている。之らはいずれも著じるしく Al_2O_3 , $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ にとみ, 又, CaO , Na_2O , K_2O 及び MgO に乏しい。鈴木は, クロリトイド片岩の成因に関し, 之らは, 石灰岩と互層していた Al_2O_3 , Fe-oxide にとむ頁岩が動力熱変成作用をうけた結果生じたとのべた。けれども, 筆者が北上山地のクロリトイド片岩について示した(1954)ように, ふつうの粘板岩が剪裂作用をともなう低度変成作用をうけると, SiO_2 , CaO , アルカリがその粘板岩及びそのまわりの岩石中に, 石英, エビドート, 絹雲母, 方解石, 曹長石などより成る細脈となつて脱出し, その結果, Al_2O_3 及び FeO , Fe_2O_3 に著じる

1) 鈴木醇; 地質, 34, 83~109, 113~131, 1927

第1表 クロリトイド片岩及び灰長石によつて交代された
クロリトイド片岩の化学成分

	I	II	III*	IV	V	VI
SiO ₂	51.07	51.08	52.84	50.25	52.54	32.44
Al ₂ O ₃	25.14	27.41	25.93	25.62	27.17	39.37
Fe ₂ O ₃	4.66	4.75	6.23	4.93	10.59	3.10
FeO	12.10	8.62	6.88	11.28		
MgO	0.76	0.81	0.60	0.85	0.96	0.42
CaO	0.26	0.92	0.54	0.28	6.29	20.55
Na ₂ O	0.88	0.63	1.31	0.74	0.90	2.54
K ₂ O	0.32	0.59	0.61	0.64	1.08	0.92
TiO ₂	0.74	0.62	0.89	0.80	n. d.	n. d.
P ₂ O ₅	tr.	tr.	tr.	tr.	n. d.	n. d.
MnO	0.24	n. d.	0.33	0.35	n. d.	n. d.
Ig. loss	3.72	4.36	3.77	4.12	3.00	1.36
Total	99.89	99.82	100.02	99.86	100.50	100.70

I, II, III 及び IV : 日立地方のクロリトイド片岩(鈴木 (1927) による)。

V : クロリトイドの残晶を相当もつ灰長石片岩

VI : 完全に灰長石その他によつて交代されたクロリトイド片岩

V と VI は城戸英彦(埼玉大化学教室)によつて分析された

しく富み、CaO、アルカリ及び MgO が非常にすくないクロリトイド片岩ができることが多い。従つて日立地方のクロリトイド片岩もこのような物質の移動を伴いつつ形成されたものかもしれない。ここで注目されるのは、前にのべたような、クロリトイド片岩と石灰岩との間の密接な関連である。之に関し、筆者は次のように考える。剪裂作用を伴う低度変成作用に際して、石灰岩と互層する粘板岩中の CaO が石灰岩の再結晶(大理石化)に際して吸収されたことが、クロリトイド片岩の形成の重要な原因となつたのではないか。何故なら、石灰岩と互層する粘板岩がはじめから石灰岩と全く対照的な化学組成をもつとは考えにくく、しかもそのような粘板岩は一般に石灰質であると考えの方が当然であるし、又、もし Ca が Al 及び Fe と共に (excess SiO₂ と共に) 相当量あれば Al、Fe はクロリトイドを作るためでなくエビドートをつくるために消費されてしまうであろうから。

クロリトイド片岩中の灰長石とその成因

本地方のクロリトイド片岩の大部分が石灰質斜長石を含んでいる。

諏訪鉾山附近では第2図で示されているように、クロリトイド片岩の中、まわりの石灰岩に接する部分に灰長石ができています。灰長石をもつた片岩は典型的クロリトイド片岩に対しては移化しているが、片状石灰岩に対しては極めて鋭い境をもつて接する。クロリトイド片岩中の灰長石の産出は諏訪鉾山より南にゆくにつれて減るが、北東東、即ち大雄院に向うにつれてましていて、大雄院花崗閃緑岩体の北西及び南東側にあるクロリトイド片岩では第3、4 及び 5 図でみられるように常に多量の灰長石が見られる。これらの灰長石をもつ片岩では、灰長石は中量の黒雲母及び緑褐色角閃石と共に、源岩のクロリトイド片岩中のクロリトイド、緑泥石、絹雲母、石英などを交代している。灰長石の結晶には通常、クロリトイド片岩の片理を示すヘリサイト構造がみられるが、そのようなヘリサイト構造

第2図 諏訪鉾山附近のクロリトイド片岩と、その中の灰長石の産状

LS: 片状石灰岩 CH: クロリトイド片岩 CA 灰長石で交代されたクロリトイド片岩 S. P. S.: 諏訪小学校

は、上にのべた交代作用が殆んど完全に進んだものでは一般に消失している(第6図)。

含灰長石片岩の中で、灰長石、黒雲母及び角閃石の配列で示されている片理と線理は、源クロリトイド片岩及び隣接する緑色片岩、片状石灰岩のそれらと一般に平行であるが、鏡下では第7図で示されるような組織がみられることがある。クロリトイド片岩の中に灰長石のできる時には相当激しい差動運動が伴ったと考えられる。又、上述の片理と線理は、大雄院花崗閃緑岩体の示す流理面及びその上の流理線理にはほぼ一致している(第1図)。

クロリトイド片岩中に生じた灰長石、黒雲母及び角閃石の光学的諸性質と灰長石のX-線粉末写真のデータは第2表に示されている。これらのデータから、灰長石の成分は

第2表 灰長石、黒雲母、角閃石の光学的諸性質と、灰長石のX-線粉末写真解析値

	Calcic plagioclase	Biotite	Hornblende
α	1.572-1.578	n. d.	1.675-1.679
β	1.580-1.584	n. d.	1.680-1.684
γ	1.584-1.589	1.634-1.639	1.699-1.671
$\gamma-\alpha$	0.011-0.012	n. d.	0.022-0.024
2V	(-)77°-78°	0°-(+)5°	(-)62°-64°
Pleochroism	none	brownish, moderate pleo.	X: light bluish green Y: deep green Z: deep bluish green
H.	7.5	n. d.	n. d.

d(Å)	Int.	d(Å)	Int.	d(Å)	Int.
4.71	30.8	3.039	28.2	1.892	22.5
4.06	33.2	2.955	36.0	1.879	23.2
3.924	27.4	2.832	32.4	1.839	25.3
3.792	36.7	2.662	27.9	1.799	25.5
3.630	35.6	2.529	29.2	1.771	27.0
3.469	27.2	2.509	29.3	1.720	23.7
3.370	29.8	2.267	23.9	1.690	23.4
3.259	43.1	2.142	30.7	1.607	23.4
3.213	73.9	2.098	25.5	1.571	22.7
3.184	100.0	1.989	23.0		
3.129	41.5	1.936	22.7		

An₉₈ Ab₂ 位であることがわかる^{1),2),3)}。

但し、大雄院花崗閃緑岩体のごく近く(20m-60m位)の所では、クロリトイド片岩を交代する斜長石の成分は、その光学的性質($n_1=1.573$)からみて、上述の成分よりやや Ab に近いらしい。クロリトイド片岩中の灰長石は、しばしば第7図に示すような興味ある双晶をしていて、一見堇青石のように見える。

灰長石、黒雲母及び角閃石によつて交代されかけている、及びほぼ完全に交代されたクロリトイド片岩の化学組成はそれぞれ第1表 V 及び VI で示されている。

クロリトイドを安定にもつ変成岩は、Al, Fe⁺⁺, Fe⁺⁺⁺にくらべて Ca, Mg 及びアルカリに乏しいのが特長である(Seki)⁴⁾。第1表 I, II, III 及び IV で示されているように、日立のクロリトイド片岩もそのような化学組成上の特長を十分にもつ。このようなクロリトイド片岩から第1表 VI で示されているような灰長石片岩になるには次のような化学組成上の変化があつたと考えられる。

この式の左辺の下線のひかれた部分の鉱物組成と、全化学組成は、此の地方の典型的クロリトイド片岩のそれらとよく一致し、右辺の下線のひかれた部分の鉱物組成と全化学組成とは灰長石がよく発達しクロリトイド片岩がすっかりこわれてしまった岩石の鉱物組成と全化学組成とにほぼ一致する。所で、この式での左辺より右辺への変化はどのような条件の下で行なわれたのであろうか。

クロリトイド片岩は一般に鉱物相での緑色片岩相を特長ずけるものである。一方、上式のようにしてクロリトイド片岩を交代した An₉₈ Ab₂ というような石灰質の斜長石、黒雲母及び角閃石より成る鉱物組合せは、ふつう角閃岩相又はそれ以上の変成度でできると

- 1) Chayes, F. ; Am. J. Sci., Bowen Volume, 85~105, 1952.
- 2) Goodyear, J. and Duffin W. J. ; Min. Mag, 30, 306~326, 1954
- 3) Winchell, A. N. ; Optical Mineralogy, 1952
- 4) Seki, Y. ; Sci. Rep. Saitama Uni., 1, 223~263, 1954

第3図 大雄院附近の含灰長石・クロリトイド片岩の産状 (第4図はその一部のスケッチ)

L. 片状石灰岩 A. 片状緑色岩
CH 灰長石をもつたクロリトイド片岩
GR. 大雄院花崗閃緑岩

第4図 大雄院附近の合灰長石・クロリトイド片岩の産状

CH: クロリトイド片岩
An: 灰長石のできているクロリト
ド片岩
Tq: 電気石(黒色部)をもつた石英

第5図 石灰岩中につつまれた灰長石片岩. この中にはクロリトイドの残晶が僅かにみとめられる(大雄院附近)

第6図 クロリトイド片岩が灰長石, 黒雲母及び角閃石で交代される状態 1→5.

C: クロリトイド ch: 緑泥石, 絹雲母及びその他より成るクロリトイド片岩の石基 A: 灰長石
B 黒雲母 am: 角閃石 S: 石英

考えられている (Ramberg¹⁾, Barth²⁾), 然し、今、ここでのべた灰長石片岩のまわりの片状石灰岩と緑色片岩を検討してみると石灰岩では、方解石～黒雲母、方解石～角閃石又は方解石～黒雲母～角閃石という鉱物組合せが、緑色片岩では陽起石、黒雲母、エビドート及び斜長石 ($An_{28}Ab_{72} \sim An_3Ab_{97}$) の各鉱物が安定である。即ち、片状石灰岩と緑色片岩の示す変成相は、明らかにエビドート・角閃岩相であつて、角閃岩相及びそのレリツクを示すと思われるような組織、鉱物組成は見られない。従つて、クロリトイド片岩の分解と灰長石の生成は、前にあげたような化学変化を伴つた、緑色片岩相よりエビドート・角閃岩相への増進変成作用によるものであると考えても差支えないであろう。ここに問題が二つのこる。

一つは、クロリトイド片岩に加わつた多量の Ca と少しの K はどこから来て、クロリトイド片岩より出た Fe はどこに行つたかという問題である。これらのことは、メタソマテイズムを考慮する多くの人々が常に感じたように非常に解決の困難な問題である。しかし、第2図でみられるような灰長石片岩の産状から、これらの物質の移動はクロリトイド片岩と、それを取りまく石灰岩 (及び緑色片岩) との間におこなわれた相互反応の結果であると考えられる。即ち、Ca と K はクロリトイド片岩の近くの石灰岩 (及び緑色片岩) から得られ、クロリトイド片岩中の Fe はまわりの石灰岩 (及び緑色片岩) の中に吸収されたのであろう。野外及び鏡下の観察から考えて、このような物質移動を伴う変成作用は強い差動運動による岩石のはげしい変形と容量変化を伴つたらしい。

第2の問題は、エビドート・角閃岩相程度の変成度で $An_{98}Ab_2$ のような石灰質斜長石がどうしてできたのか。エビドートができるはずではないか? ということである。この点、次のように考えたらよいだろう。Al/Ca が大きい場合には Al/Ca 比の大きい灰長石がエビドートに代つて出来やすいという斜長石-エビドート平衡関係 (Ramberg³⁾) が、この場合非常に効いているらしい。即ち、もとのクロリトイド片岩は Al にとんでいるから、エビドート・角閃岩相の物理条件の下で相当量の Ca がクロリトイド片岩に加わつても、Al/Ca が尚、エビドートをつくるよりも灰長石を晶出させるような大きさを保つていた。このため、エビドート-曹長石-黒雲母-角閃石、又はエビドート-黒雲母-角閃石の組合せができないで、その代り灰長石-黒雲母-角閃石の鉱物組合せができたらしい。

第7図 灰長石の双晶の1例

A-B} アルバイトーカールスバツド
C-D} Λ 型双晶
A-C} アルバイト型双晶
B-D}

尚、A の結晶はペリクリン双晶をする。
(これらの双晶の決定は加納博氏が行なつた)

- 1) Ramberg, H.; Norsk Geol. Tidsskr. **24**, 42~73, 1944
- 2) Barth, T. F. W.; Neues Jahrb. Min. **82**, 143~154, 1951
Barth, T. F. W.; Theoretical petrology, 85~105, 1952
- 3) Ramberg, H.; op. cit.

低下変成作用とクロリトイドの2次的生成

上でのべたような灰長石片岩の大部分は、更に、はげしい差動運動をともなつた低下変成作用をうけている。そのため黒雲母と角閃石は緑泥石化作用を強くうけている。灰長石は絹雲母にいた微細な鉱物¹⁾によつて結晶の周りとか劈開面にそつて交代されているが、決して曹長石化作用、ソーシユライト化作用をうけていない。之はもともと灰長石片岩に Na がすくなかつたこと、低下変成作用に際して Na の附加がなかつたこと、低下変成作用の時も Al/Ca はエビドートをつくるには大きすぎたことによるのであろう。

興味あることに、このような低下変成作用に伴なつて、新たにクロリトイドのできることがある。2次的クロリトイドというべきものであろう。之は、鈴木がくわしく報告した²⁾ 2つの型のクロリトイドの中、十字型のもの(1次的クロリトイド)のまわりを rim 状にとりかこむポイキロプラスティック・クロリトイドに当るものであろう。

低下変成作用によつてできた片理と線理は、灰長石片岩のそれらと一致し、且つ、大雄院花崗閃緑岩の剪裂面とその上にみられる線理とによく一致する。

結 論

1) 典型的クロリトイド片岩形成、そののちの灰長石の成長を伴う増進変成作用及びひきつづく低下変成作用の間には構造運動の面で全くギャップが認められないし、又、之ら三者が全く独立の変成サイクルに属するとは考えられない。これらは、夫々、一つの変成作用の初期、中期及び後期を示すものであろう。

2) このような、変成作用の初期と中期とで、クロリトイド片岩をめぐるすくなくとも Ca の動きが全く逆であつたと推定されうる。即ち、初期には、石灰岩中にはさまれた粘板岩よりの Ca の除去(この Ca は石灰岩の再結晶大理石化に際して石灰岩に吸収されたのであろう)を伴うクロリトイド片岩の形成(緑色片岩相)があり、中期には、かくてできたクロリトイド片岩への Ca 添加(この Ca は石灰岩から得られたと考えざるを得ない)による灰長石片岩の形成(エビドート・角閃岩相)である。

3) 灰長石によるクロリトイド片岩の交代の程度は、大雄院花崗閃緑岩体に近い所ほど著じるしいこと及び灰長石片岩の片理と線理が大雄院花崗閃緑岩体の流理構造によく一致することから考えて、灰長石の成長を伴う増進変成作用は大雄院花崗閃緑岩の貫入とはほぼ同時であつて、両者は密接な関係をもつていたと推定される。しかし、その反面、灰長石の成長が大雄院花崗閃緑岩体からはるかになれた南南西方向にまでひろく見られることは、この増進変成作用が単なる大雄院花崗閃緑岩貫入による接触変成作用によるものではないことを示している。

4) 変成作用の末期の低下変成作用は大雄院花崗閃緑岩体のうけた剪裂運動及び作用とほぼ同時と考えられる。

1) X-線粉末写真によつて、之は緑泥石及び絹雲母とはことなる多分 Ca をもつたハイドロ(アルミ+?)珪酸塩であろうが、くわしいことは未知である。