と砒素との區別反應に充分有力な反應であることを認めた。例としては特に岐阜縣洞戸礦山産の二次的礦物(白鉛礦, モリブデン鉛礦及び黃色針狀の礦物)に適用した。この黃色細針狀礦物は、鏡檢分析及びその他、形態的な性質からミメタイトと推定し得る礦物である。(東京帝國大學理學部礦物學教室)

評 論 雜 錄

ボーウエン氏の珪質石灰岩及び苦灰岩の順進變成作用論(抄譯)(2)

Progressive metamorphism of siliceous limestone and dolomite by N. L. Bowen

理學博士・竹 内 常 彦 (T. Takéuti)

珪質苦灰岩の順進變成作用(續き)

次の變成段階は珪灰石の生成に關するものでその反應は次の如くである。

この反應は既に珪質石灰岩の變成作用の場合に最初の段階として考へたものと全く同様である。即ちこゝに注意する必要があることは珪質苦灰岩の

第 十 一 圖

場合、珪灰石の生成に至るまでに起る數次の變成段階は珪質石灰岩の場合には起らないことで、換言すればマグネシア炭酸鹽はカルシウム炭酸鹽に

比し CO_2 を容易に逸出せしめ得ることである。新三角形圖は第十一圖右に示す如くで石英-透輝石-珪灰石三角形中に存する總ての成分はこゝに於て最後の段階に到達する。

更に變成作用が進む時第一に起るのはモンテイセライト (monticellite CaMgSiO_4) の生成である。その反應は次の式で表はされる。

透輝石 苦土橄欖石 方解石 モンテイセライト

相の組合せは次の如くで、その關係は第十二圖に掲ぐる如くである。

第 十 二 圖

a) 透輝石+苦土橄欖石+方解石+モンテイセライト	} 低 温
b) 透輝石+苦土橄欖石+方解石+ CO_2	
c) モンテイセライト+ CO_2 +透輝石+苦土橄欖石	} 高 温
d) モンテイセライト+ CO_2 +透輝石+方解石	
e) モンテイセライト+ CO_2 +苦土橄欖石+方解石	

この場合も三礦物の反應により一礦物を生ずるのであつて、本段階の特徴は透輝石、苦土橄欖石及び方解石の三礦物相はも早共存し得ない點にある。尙苦土橄欖石と透輝石は、こゝに考究しつつあるマグネシアに富まぬ岩石に於ては共存し得ないものである故に兩者を破線で結んだ。

與へられた壓力の下に更に溫度が上昇する時起る次の反應はオケルマナイト (akermanite $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$) の生成で次式の如くである。

透輝石 方解石 オケルマナイト

相の組合せは次の如くである。

a) 透輝石 + 方解石 + オケルマナイト	} 低 温
b) 透輝石 + 方解石 + CO ₂	
c) オケルマナイト + CO ₂ + 透輝石	} 高 温
d) オケルマナイト + CO ₂ + 方解石	

本段階の特徴は透輝石と方解石の共存が不可能となる點で、第十三圖はその三角形圖對である。

第 十 三 圖

更に高温に至る時起る反應は モンテイセライトの第二回目の生成である。交叉關係にあるこの反應は次の如くである。

苦土橄欖石 方解石 モンテイセライト ペリクレス

相の組合せは次に示す様である。

a) 苦土橄欖石 + 方解石 + モンテイセライト + ペリクレス	} 低 温
b) 苦土橄欖石 + 方解石 + モンテイセライト + CO ₂	
c) 苦土橄欖石 + 方解石 + ペリクレス + CO ₂	
d) モンテイセライト + ペリクレス + CO ₂ + 苦土橄欖石	} 高 温
e) モンテイセライト + ペリクレス + CO ₂ + 方解石	

本段階に於て方解石と苦土橄欖石は共存し得ざる状態に達する。第拾四圖はその關係を示すものである。

こゝに考察しつゝある成分範圍の大部のものは本段階に達してその變成作用を完了するのであつて、例へば珪質苦灰岩 (MgO と CaO を等量に有す) の場合にはその初成成分の珪酸含有量に従ひ異つた最終礦物組合せを形成する。その状態は第十四圖右を見れば明らかで、最初に含有する SiO₂

の零なる場合には方解石とペリクレスとなり、 SiO_2 が 33.3mol% 以下に於ては方解石、ペリクレス及びモンテイセライトとなり、33.3~50% に於てはモンテイセライト及び透輝石より成り、又 50% 以上の SiO_2 を含有する場合には透輝石と石英の組合せとなる譯である。

第 十 四 圖

これより更に高度の變成作用により變化するのは石灰に富む限られた範圍のもので、現段階に於ては方解石-オケルマナイト-珪灰石三角形内のか或は方解石-オケルマナイト-モンテイセライト三角形内にある成分のものである。それに関しこゝに二つの可能な脱炭酸反應がある。一つは珪灰石と方解石よりスプライト (spurrite) と CO_2 を生ずる反應で、他はオケルマナイトと方解石が反應してメルウキナイト (merwinite) と CO_2 を生ずることである。その何れが先に起る反應であるかは幾何學的に推定出来ないが、天然に産出する場合の共生關係より¹⁾ スプライトの生成が早期のものとする。その反應式は珪質石灰岩の變成作用の時に既に述べたが次式で現はされる。

又その状態は第十五圖の如くである。

次にメルウキナイト (merwinite $\text{Ca}_3\text{MgSi}_2\text{O}_8$) の生成は次式で表はされる。

1) E. S. Larsen and W. Foshag: Am. Min., 6, 144, 1921.

第 十 五 圖

その相の組合せは次の如くである。

a) オケルマナイト + 方解石 + メルウキナイト	}	低 温
b) オケルマナイト + 方解石 + CO ₂		
c) メルウキナイト + CO ₂ + オケルマナイト	}	高 温
d) メルウキナイト + CO ₂ + 方解石		

本段階に於ける特徴はオケルマナイトと方解石の共存がこれ以上の變成度に於ては不可能となることで、その三角形圖は第十六圖に示した。

第 十 六 圖

次の段階に於いて珪灰石とスプライトは反應する結果ラルナイトを生ずる。この現象は石灰岩の場合に既に考察した。その關係は第十七圖に示し、反應式は次の如くである。

第 十 七 圖

更に考へられる段階は第十七圖右に於けるプライト-オケルマナイト線がラルナイト-メルウキナイトにより切られることであつて、天然に於てラルナイトとメルウキナイトの共存が可能であることより暗示せられた。即ち次の反應が考へられる。

相の組合せは次の如くである。

a) スプライト + オケルマナイト + ラルナイト + メルウキナイト	} 低 温
b) スプライト + オケルマナイト + ラルナイト + CO ₂	
c) スプライト + オケルマナイト + メルウキナイト + CO ₂	
d) ラルナイト + メルウキナイト + CO ₂ + スプライト	} 高 温
e) ラルナイト + メルウキナイト + CO ₂ + オケルマナイト	

その状態圖は第十八圖に示した。

第 十 八 圖

本段階に於て變成作用は最高度に達したのであつてこれ以上の變化は未だ知られて居ない。方解石はこの最高温度に於てスプライト、メルウキナ

イト、モンテイセライト或はペリクレスと共存することが出来る。これ以上の脱炭酸反應即ち三石灰珪酸鹽 (tricalcic silicate) 或は石灰自身の生成は考へることは出来るが、その産出の事實は未だ知られて居ない。

13 の變成階程に就て

以上述べた如く天然に於て實際に觀察せられる礦物共生關係及び理論的相平衡關係から、炭酸質岩石の變成作用を 13 の階程に分けて考察した。その何れの階程も CO_2 を放出する一變系の反應 (univariant reaction) である。各々の反應は壓力に對しその反應の起る溫度が與へられるもので、換言すれば P-T 曲線を畫くことが出来る。第十九圖は全く豫察的に畫いたもので各曲線の相互關係を示して居る。如何なる任意の壓力の下に於て

第 十 九 圖

1~13 の曲線は方程式 1~13 及び三角形圖第六~第十八に夫々示した反應の P-T 曲線である。曲線 a は α -石英と β -石英の變移曲線、曲線 b は珪灰石と偽珪灰石の變移曲線で岩漿の最高溫度の概略を示す。曲線 c は CaCO_3 の解離壓曲線、直線 d は花崗岩漿の大略最高溫度を示す。

も、温度の上昇に伴つて各曲線と遭遇する温度で順次に反應を起して I3 の階程を以て變成作用が進行することは同圖に見る如くである。

總ての場合、その基本的な事實は、或る相の組合せは或る段階より下では存在するが上では存在し得ないと云ふことである。この點よりその礦物組合せを一種の温度計と考へ I3 の階程を任意の壓力の下に考へ得るのであつて（こゝに考究しつゝある珪質石灰岩に對して）、その組合せを第一表に掲げた。即ち或る階程に達した時にその礦物組合せは消失すべきものであつて、その礦物組合せの共存しつゝあることはその變成階程に達しなかつたことを意味し、その場合他の礦物の存在はこれと關係はない。その階程の状態は第十九圖に示されて居る。

第 一 表

曲線 1 より左方	第 1 階程以下	苦灰石及び石英
曲線 2 より左方	第 2 階程以下	苦灰石及び透角閃石
曲線 3 より左方	第 3 階程以下	方解石、透角閃石及び石英
曲線 4 より左方	第 4 階程以下	方解石及び透角閃石
曲線 5 より左方	第 5 階程以下	苦灰石
曲線 6 より左方	第 6 階程以下	方解石及び石英
曲線 7 より左方	第 7 階程以下	方解石、苦土橄欖石及び透輝石
曲線 8 より左方	第 8 階程以下	方解石及び透輝石
曲線 9 より左方	第 9 階程以下	方解石及び苦土橄欖石
曲線 10 より左方	第 10 階程以下	方解石及び珪灰石
曲線 11 より左方	第 11 階程以下	方解石及びオケルマナイト
曲線 12 より左方	第 12 階程以下	スプライト及び珪灰石
曲線 13 より左方	第 13 階程以下	スプライト及びオケルマナイト

この場合源岩石として珪質石灰岩或は苦灰質石灰岩を考へ、それより變成作用が出發して其間全體としての化學成分は不變で(CO₂の逸出を除き)他より物質の移入も考へなかつたが、最初に純粹の石灰岩(CaCO₃)を考へそれに珪酸及び苦土の移入があつたとして差支なく、又其場合の多くの物質の混入があつても結果は同じである。更に又初めの石灰岩が極めて不純で泥質物(argillaceous materials)を含有し、珪酸やグロスライト、ベスビアナイト、灰長石等の如き礬土質の相があつても、表に掲げた礦物組合せの永續する最高温度(一定壓力の下に)に變化はないのである。但し勿論礬土の存在(或は移入)は變成段階に於て表記礦物相の生成を妨げることは事實

である。然し乍らこれは別個のことで又問題を不分明にするものではなく、この理論は或る礦物組合せの存在を以て變成段階を決める標準として、組合せの存在せぬことには何等意味を持たせないのである。

尙こゝに一つの限定を要する問題がある。それは礦物相中に固溶體として混入し得る物質があることである。例へば第一鐵がこの變成過程に存在した場合、第7階程のモンテイセライト中に固溶體として入り、その爲第一鐵の入らぬ純粹の場合と反應する溫度を異にし又溫度に範圍を有する。即ちも早一變系の反應ではなくなるのである。同様の現象は他の段階に於ても存在し得る。然し乍ら實際の場合に鐵或は同様の物質の混入が特別大ならざる限り、その爲に起る各段階の範圍の變化は比較的少く、段階を混亂させることはないと考えられる。

以上の理論は或る礦物組合せの存在することより變成過程は或る溫度まで達するに至らなかつたことを知るのであつて、稍消極的である。そこでこれと同様にして或る相或は相群の存在を以て或る溫度に達したことの標準とし、順進變成作用の段階を考へることは不可能であらうかと云ふ問題が残る。上述した珪質苦灰岩の I3 變成段階に於て次の 10 種の礦物が順次に生成せられた。

1 透角閃石 (tremolite)	6 モンテイセライト (monticellite)
2 苦土橄欖石 (forsterite)	7 オケルマナイト (akermanite)
3 透輝石 (diopside)	8 スプライト (spurrite)
4 ペリクレーズ (periclasé)	9 メルウキナイト (merwinite)
5 珪灰石 (wollastouite)	10 ラルナイト (larnite)

これは溫度の上昇に従ひ生成された順位を示すものであるが各礦物は順次に高温の性質を示すものではなく、何れも常溫に於て安定である。又此等の礦物の生成が或る溫度に到達したことを指示し得るには、その化學成分上並びに變成環境に關する種々の條件を必要とし、天然に於ける產出状態よりも本問題を考へる充分な根據がない。要するに問題の複雑性の結果、此等の 10 種の變成礦物の生成過程を特徴づけることは不可能であつて、前に述べた I3 の礦物組合せによることが最も合理的である。(完)