

## 第三章 結果與討論

### 3-1、實驗岩石學研究

#### 3-1-1、一大氣壓下高溫實驗之結晶順序

一大氣壓下之實驗結果列於表 3-1，烘爐山玄武岩質岩漿在一大氣壓下礦物的結晶順序與溫度為：1273°C 時晶出鐵鎂尖晶石與斜長石，1198°C 晶出橄欖石，1193°C 晶出鈦鐵礦，1183°C 時晶出斜輝石，液相溫度為 1273°C，而固相溫度約略低於 1160°C，熔融區間約為 113°C。一大氣壓下各相結晶溫度與順序如圖 3-1，實驗所測得之溫度誤差為加減 1°C。光學顯微鏡下的影像如圖 3-2。

#### 3-1-2、反射式電子影像分析

將一大氣壓下的實驗光片，藉由掃描式電子顯微鏡(SEM)取得反射式電子影像圖，不同的礦物相會產生不同的灰階色差，選擇欲分析礦物相，經能量分散光譜儀(EDS)的分析，結果分述如下：圖 3-3 為 1275°C 的反射式電子影像圖，只發現單一玻璃相；圖 3-4 為 1226°C 的反射式電子影像圖，出現的三個相為玻璃、鐵鎂尖晶石與斜長石；圖 3-5-1 為 1220°C 的反射式電子影像圖，其中的三個相分別為玻璃、鐵鎂尖晶石與斜長石，圖 3-5-2 將灰階調深，能分辨出晶出的富鐵的鐵鎂尖晶石

表 3-1、一大氣壓下高溫之實驗結果。

| Run no. | Temp. (°C) | Duration (hr : min) | Phase (s) <sup>a</sup> |
|---------|------------|---------------------|------------------------|
| 32      | 1275       | 27:35               | Gl                     |
| 15      | 1270       | 08:13               | Gl+Pn+Pl               |
| 24      | 1265       | 10:00               | Gl+Pn+Pl               |
| 20      | 1255       | 07:50               | Gl+Pn+Pl               |
| 02      | 1250       | 04:00               | Gl+Pn+Pl               |
| 21      | 1243       | 09:40               | Gl+Pn+Pl               |
| 11      | 1240       | 06:00               | Gl+Pn+Pl               |
| 21      | 1235       | 09:40               | Gl+Pn+Pl               |
| 27      | 1226       | 11:25               | Gl+Pn+Pl               |
| 18      | 1220       | 10:00               | Gl+Pn+Pl               |
| 26      | 1215       | 11:30               | Gl+Pn+Pl               |
| 07      | 1210       | 02:00               | Gl+Pn+Pl               |
| 25      | 1205       | 11:40               | Gl+Pn+Pl               |
| 16      | 1200       | 05:00               | Gl+Pn+Pl               |
| 23      | 1195       | 10:30               | Gl+Pn+Pl+Ol            |
| 08      | 1190       | 04:00               | Gl+Pn+Pl+Ol+Ilm        |
| 29      | 1186       | 09:45               | Gl+Pn+Pl+Ol+Ilm        |
| 12      | 1180       | 06:45               | Gl+Pn+Pl+Ol+Ilm+Cpx    |
| 19      | 1175       | 13:10               | Gl+Pn+Pl+Ol+Ilm+Cpx    |
| 03      | 1170       | 14:13               | Gl+Pn+Pl+Ol+Ilm+Cpx    |
| 14      | 1160       | 11:32               | Gl+Pn+Pl+Ol+Ilm+Cpx    |

<sup>a</sup>Cpx : Clinopyroxene ; Gl : Glass ; Ilm : Ilmenite ; Ol : Olivine ; Pl : Plagioclase ;  
Pn : Pleonaste

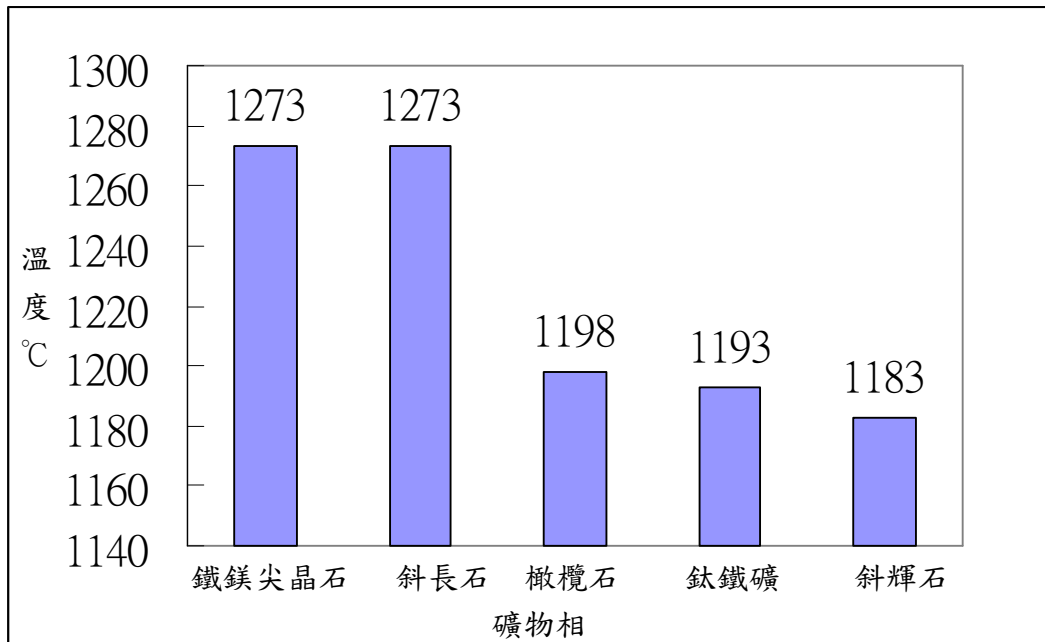


圖 3-1、烘爐山玄武岩一大氣壓下實驗結晶次序圖

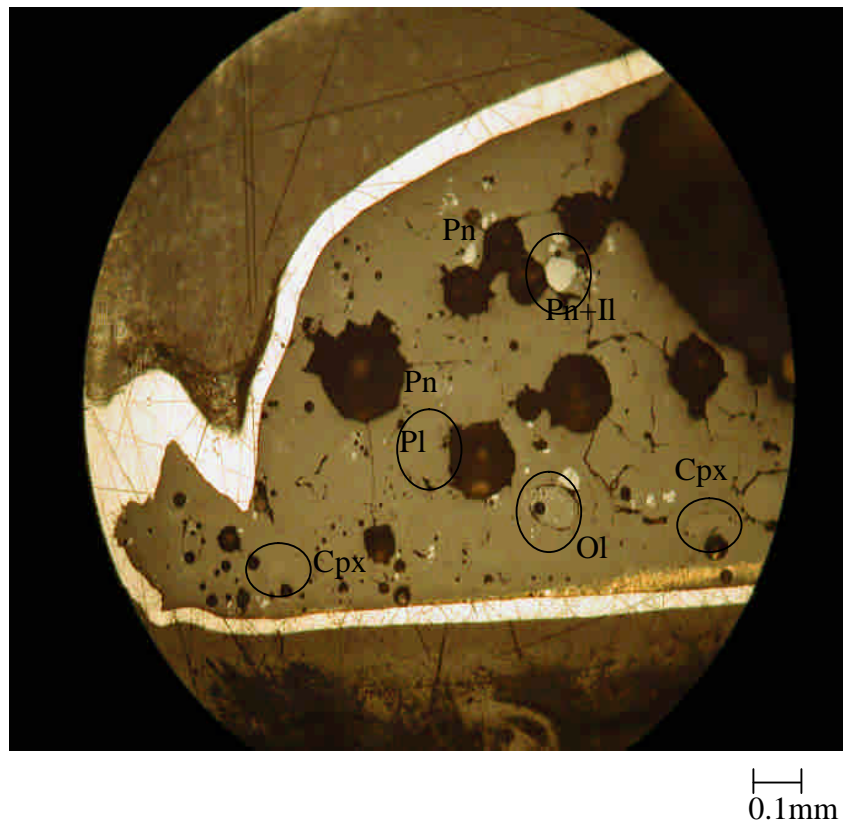


圖 3-2、1180°C 下的實驗結果，有鐵鎂尖晶石 (Pn)、斜長石 (Pl)、橄欖石 (Ol)、鈦鐵礦 (Ilm)



圖 3-3、1275°C 下之反射式電子影像圖，圖中全為玻璃(Gl)相。

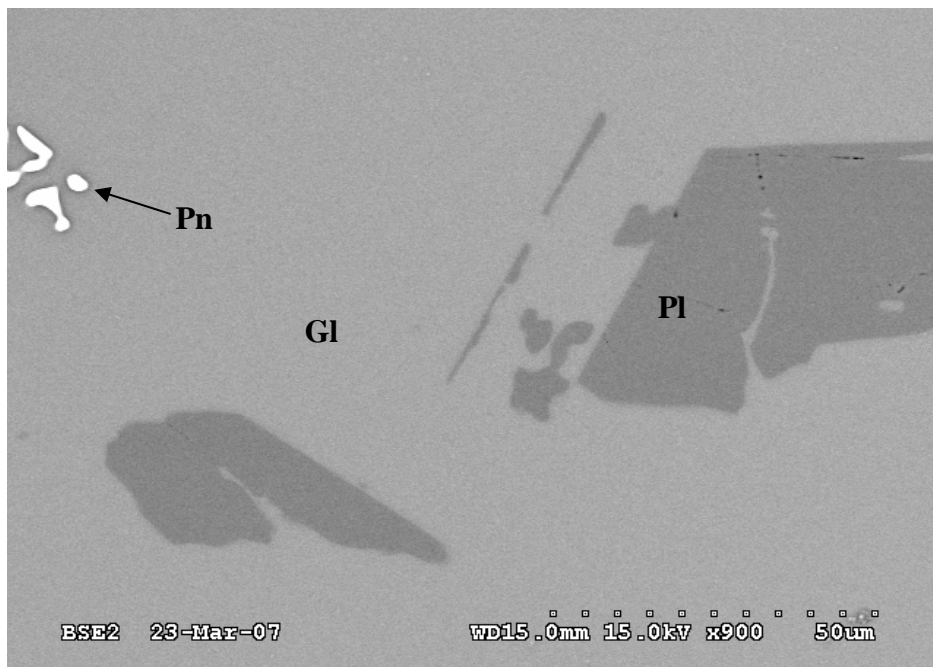


圖 3-4、1226°C 下之反射式電子影像圖，圖中為玻璃(Gl)+鐵鎂尖晶石(Pn)相+斜長石(Pl)相。

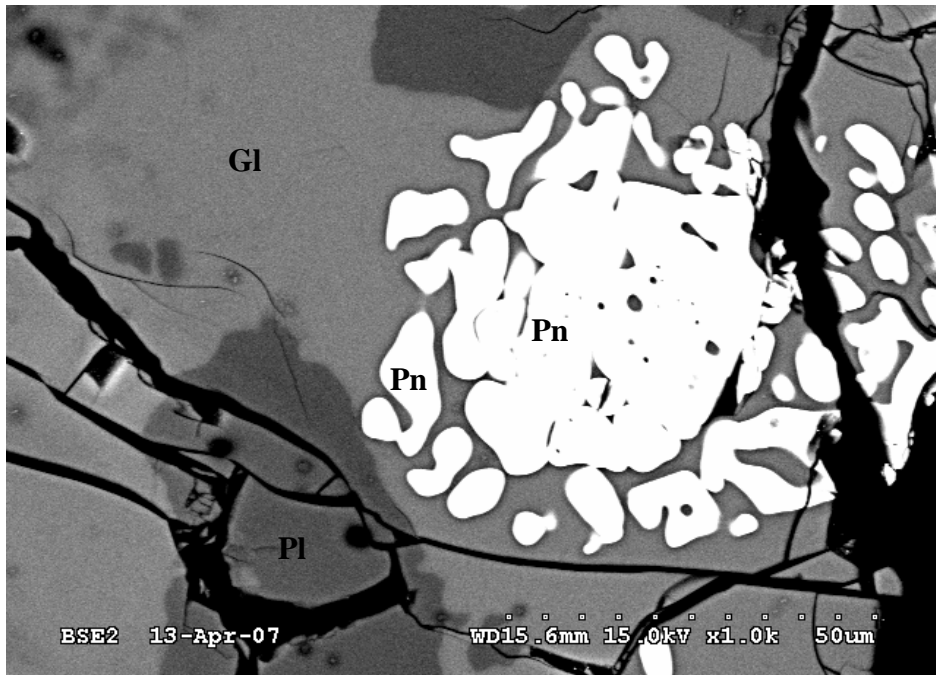


圖 3-5-1、1220°C 下之反射式電子影像圖，圖中為玻璃(GI)+鐵鎂尖晶石(Pn)相+斜長石(Pl)相。

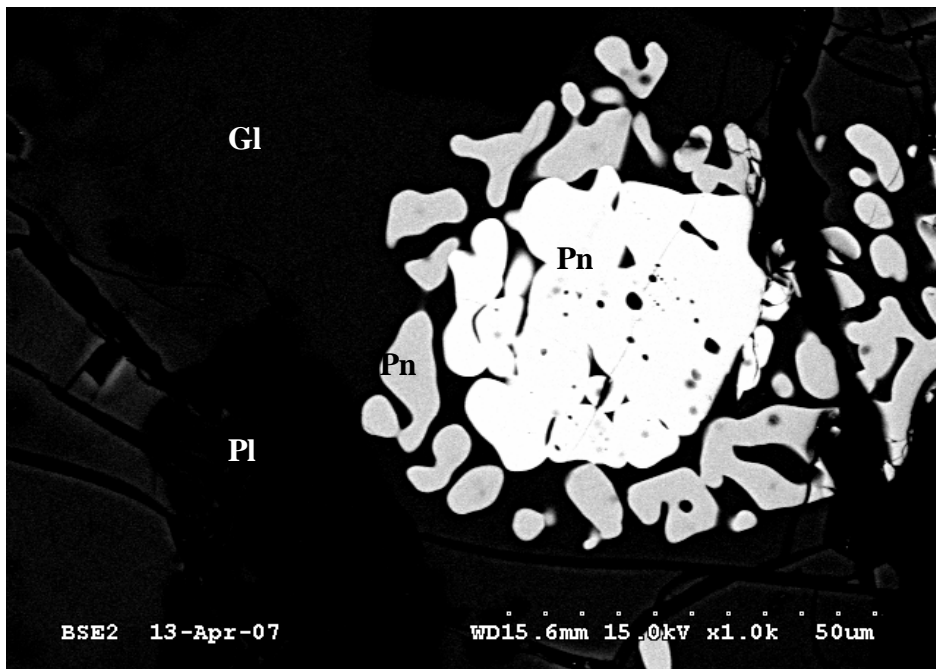


圖 3-5-2、1220°C 下之反射式電子影像圖，圖中為玻璃(GI)+鐵鎂尖晶石(Pn)相+斜長石(Pl)相。由灰階的深淺可區別出富鐵與富鎂的鐵鎂尖晶石。

結晶顆粒四周常包圍富鎂的鐵鎂尖晶石；圖 3-6-1 和圖 3-6-2 為 1190°C 的反射式電子影像圖，出現五個相，分別為玻璃、鐵鎂尖晶石、斜長石、橄欖石、鈦鐵礦，其中圖 3-6-2 中的橄欖石可看見內含鐵鎂尖晶石之包晶；圖 3-7-1 圖 3-7-2 為 1180°C 的反射式電子影像圖，出現六個相，分別為玻璃、鐵鎂尖晶石、斜長石、橄欖石、鈦鐵礦與斜輝石。因此一大氣壓下光片樣本中礦物相的出現順序為：鐵鎂尖晶石、斜長石、橄欖石、鈦鐵礦與斜輝石，實驗溫度愈低，晶出的礦物量愈多。

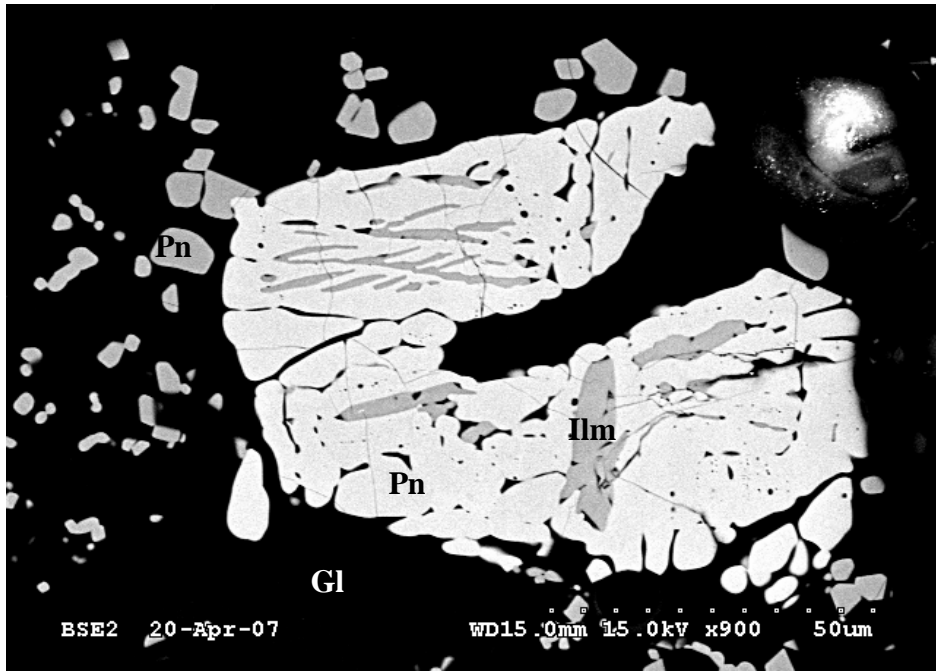


圖 3-6-1、1190°C 下之反射式電子影像圖，圖中為玻璃(Gl)+鐵鎂尖晶石(Pn)相+鈦鐵礦(ilm)。

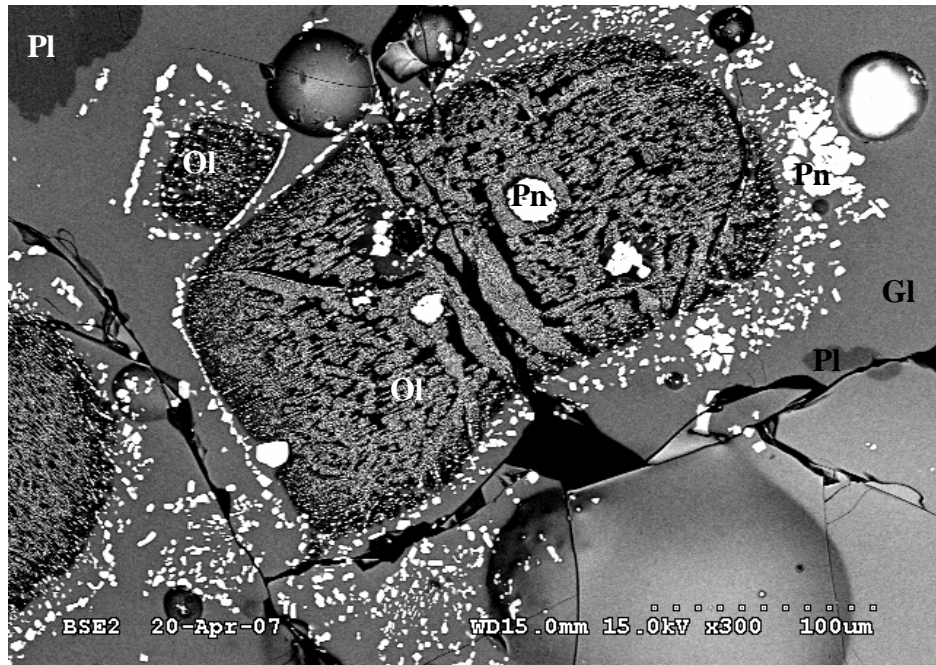


圖 3-6-2、1190°C 下之反射式電子影像圖，圖中為玻璃(Gl)+鐵鎂尖晶石(Pn)相+斜長石(Pl)相+橄欖石(Ol)相。

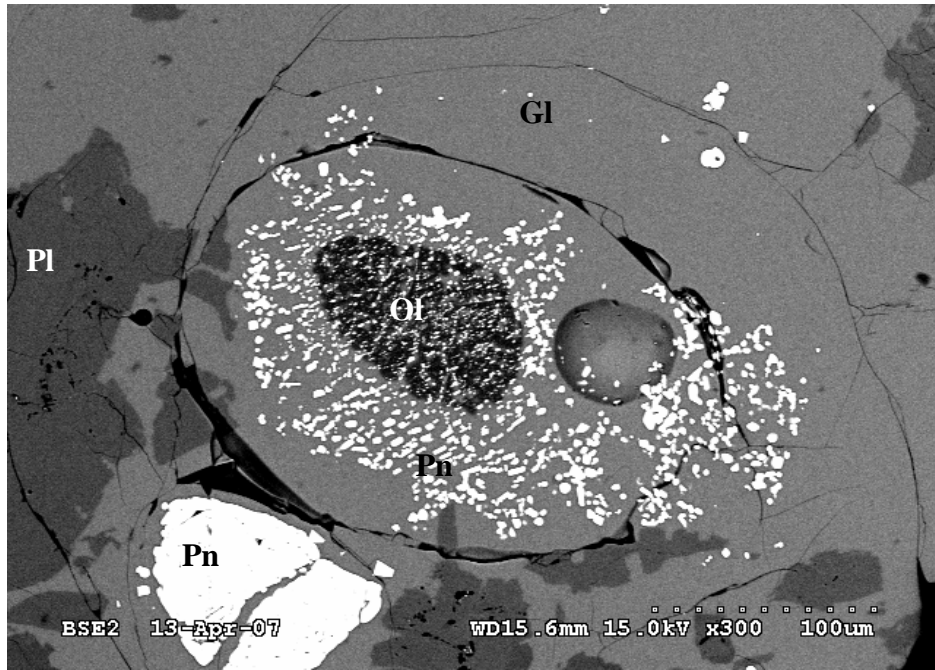


圖 3-7-1、1180°C 下之反射式電子影像圖，圖中為玻璃(Gl)+鐵鎂尖晶石(Pn)相+斜長石(Pl)相+橄欖石(Ol)。

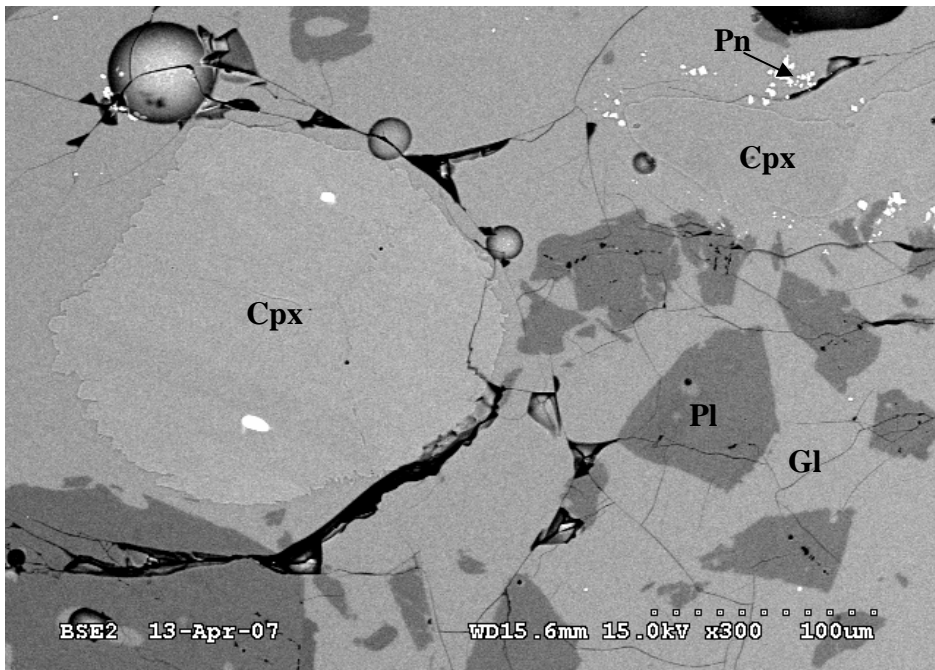


圖 3-7-2、1180°C 下之反射式電子影像圖，圖中為玻璃(Gl)+鐵鎂尖晶石(Pn)相+斜長石(Pl)相+斜輝石(Cpx)相。

### 3-1-3、能量分散式光譜儀的分析結果

礦物經能量分散式光譜儀(EDS)分析後，可得到礦物所含的元素種類與含量，藉以分析礦物相的種類。玻璃相的主要元素以矽、氧、鋁、鎂、鈣為主(圖 3-8)；鐵鎂尖晶石相的主要元素以氧、鎂、鐵、鋁、鉻、鈦為主(圖 3-9)；斜長石相的主要元素以矽、鋁、氧、鈣、鈉為主(圖 3-10)；橄欖石相的主要元素以鎂、氧、矽、鐵為主(圖 3-11)；鈦鐵礦相的主要元素以氧、鈦、鐵、鎂、鋁為主(圖 3-12)；斜輝石相的主要元素以矽、氧、鎂、鈣、鋁、鐵為主(圖 3-13)。

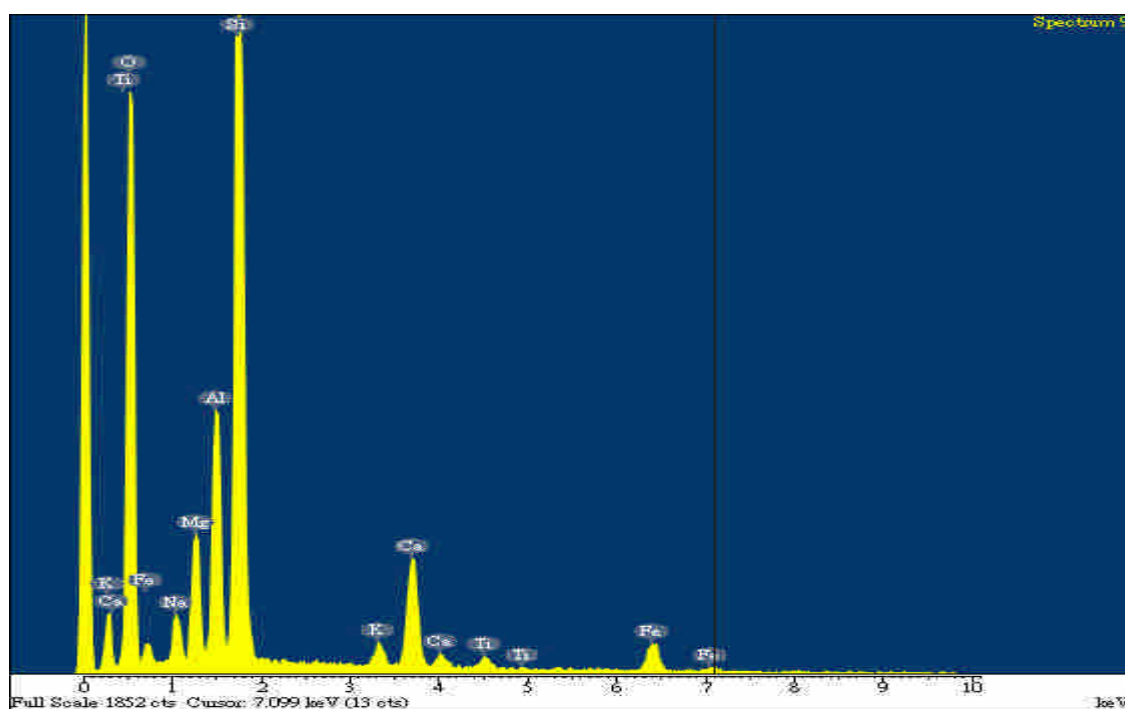


圖 3-8、1180°C 玻璃相的代表性光譜圖，主要元素以矽、氧、鋁、鎂、鈣為主

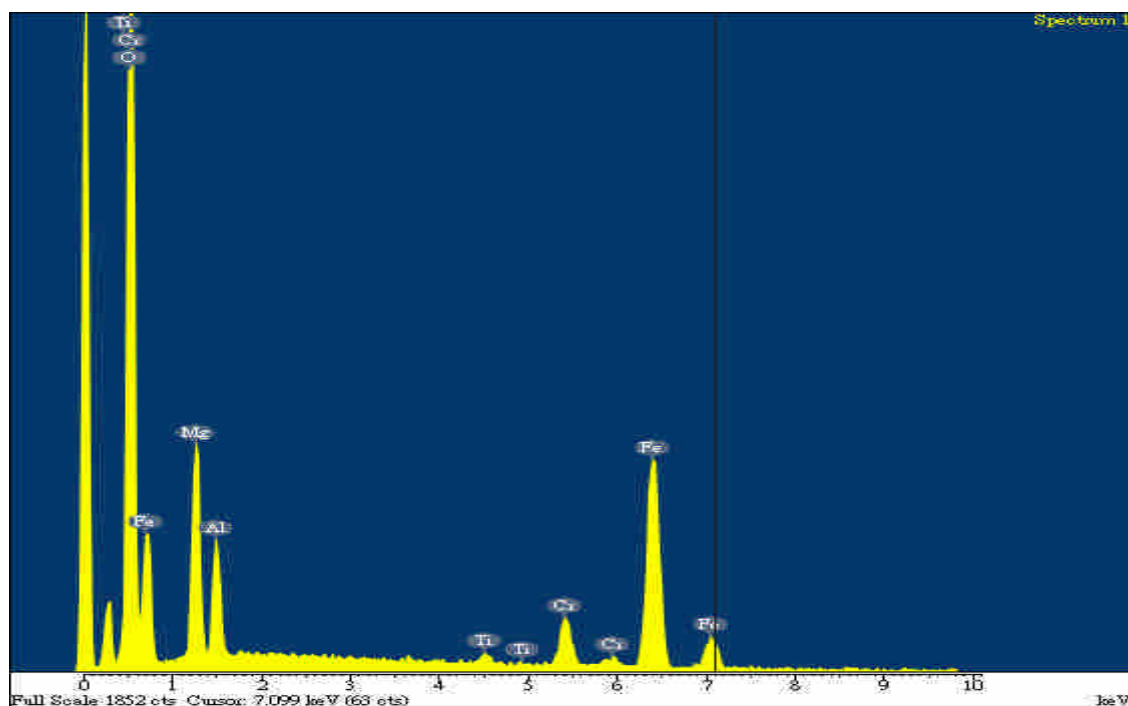


圖 3-9、1180°C 鐵鎂尖晶石相的代表性光譜圖，主要元素以氧、鎂、鐵、鋁、鉻、鈦為主

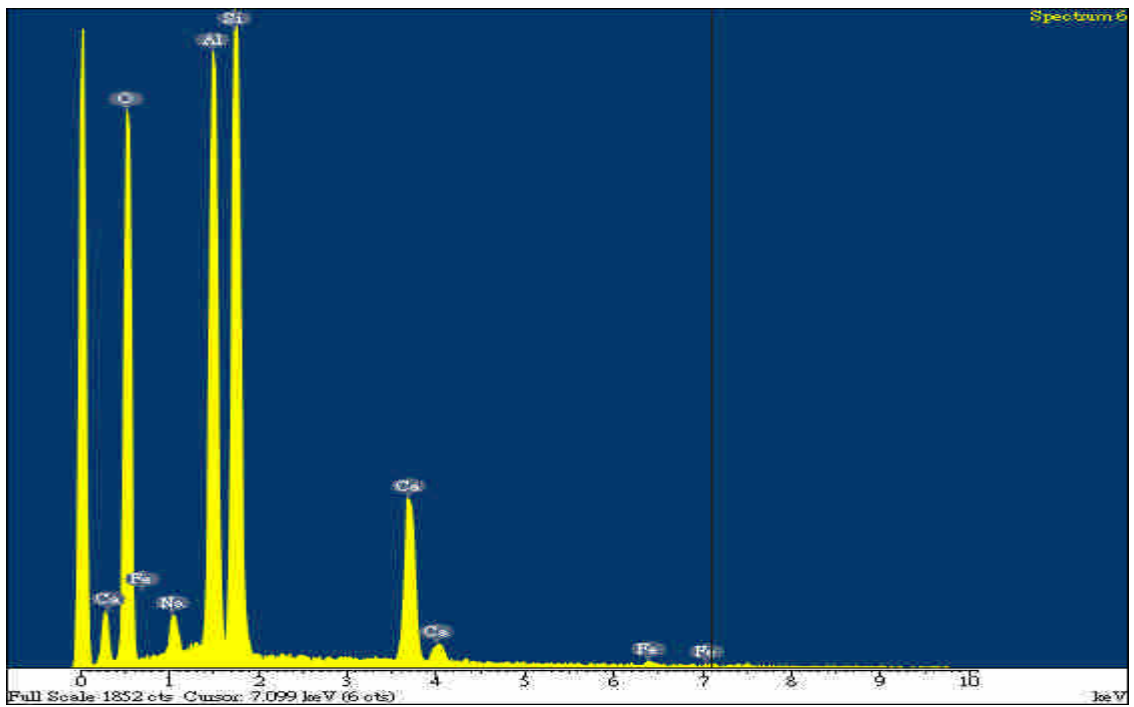


圖 3-10、1180°C 斜長石相的代表性光譜圖，主要元素以以矽、鋁、氧、鈣、鈉為主

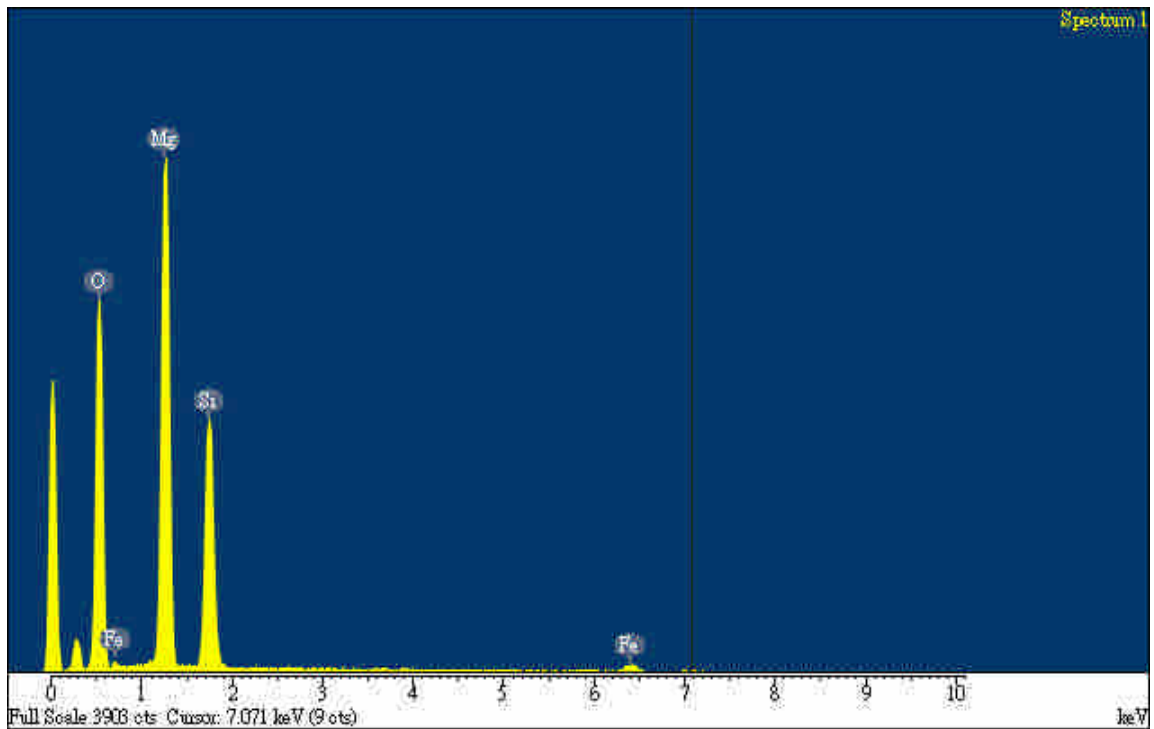


圖 3-11、1180°C 橄欖石相的代表性光譜圖，主要元素以鎂、氧、矽、鐵為主

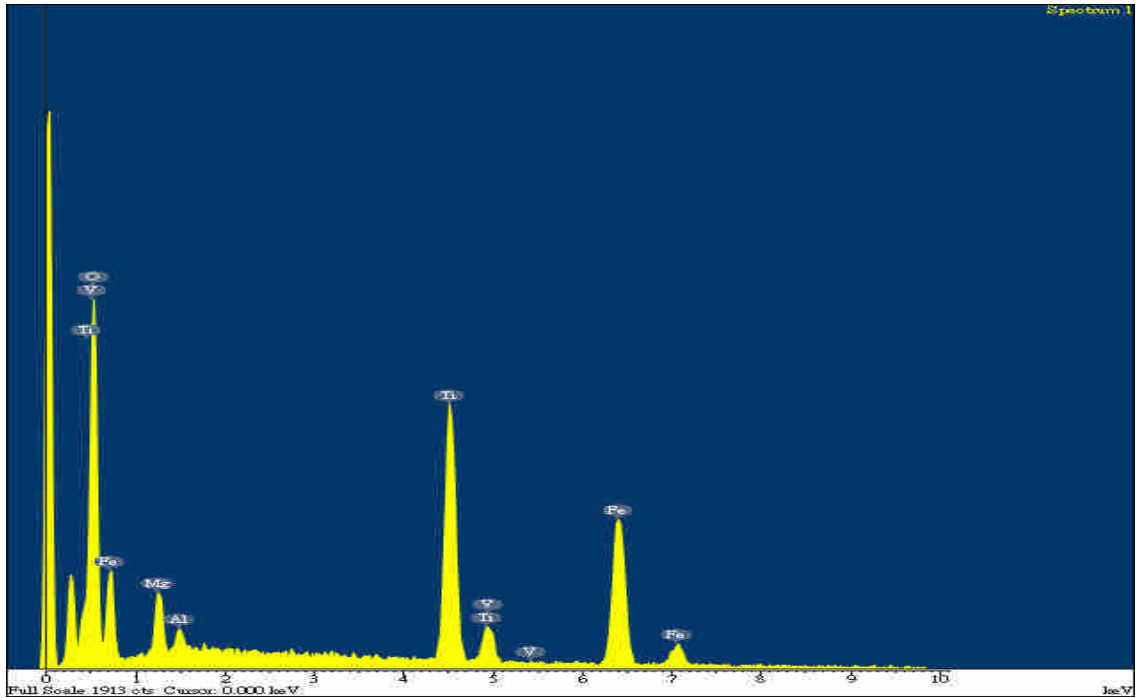


圖 3-12、1180°C 鈦鐵礦相的代表性光譜圖，主要元素以氧、鈦、鐵、鎂、鋁為主。

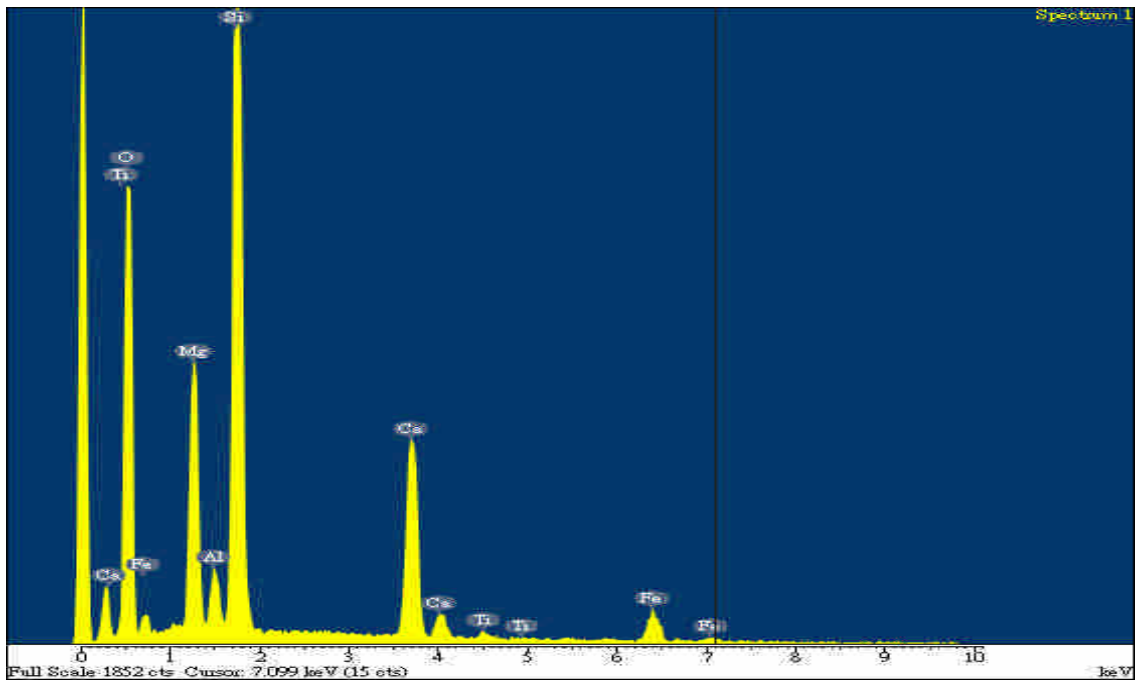


圖 3-13、1180°C 斜輝石相的代表性光譜圖，主要元素以矽、氧、鎂、鈣、鋁、鐵為主。

### 3-1-4、礦物化學

本實驗依結晶順序對鐵鎂尖晶石、斜長石、橄欖石、鈦鐵礦、斜輝石等礦物之成分隨結晶溫度變化作分析，藉此瞭解礦物成分變化趨勢，進而瞭解礦物成分對岩漿成分演化的影響。

#### 3-1-4-1、鐵鎂尖晶石(Pleonaste)

鐵鎂尖晶石晶出的溫度範圍是  $1273^{\circ}\text{C} \sim 1160^{\circ}\text{C}$ ，屬於高溫時很早晶出的礦物。鐵鎂尖晶石的化學成分列於表 3-2。在 SEM 下的灰階影像中，富鐵的鐵鎂尖晶石較富鎂的鐵鎂尖晶石亮；化學分析，富鐵的鐵鎂尖晶石的氧化鈦與氧化鐵含量都比富鎂的鐵鎂尖晶石高，氧化鎂與氧化鋁則比富鎂的鐵鎂尖晶石少許多。其中富鐵的鐵鎂尖晶石的氧化鈦含量隨溫度下降而增加，氧化鐵含量則隨溫度下降而減少。偶爾在富鎂的鐵鎂尖晶石中出現的氧化鉻與氧化錳，在富鐵的鐵鎂尖晶石中不出現。

#### 3-1-4-2、斜長石(Plagioclase)

斜長石晶出的溫度範圍是  $1273^{\circ}\text{C} \sim 1160^{\circ}\text{C}$ ，屬於高溫時很早晶出的礦物。斜長石的化學成分列於表 3-3。將其繪於 An-Ab-Or 三成分圖中(圖 3-14)，顯示出 An 值介於 87~98 之間，Or 值則皆為零，另外可發現斜長石的結晶溫度越高，斜長石的含鈣比例越高。

表 3-2、鐵鎂尖晶石化學成分表

|                                |              |              |              |              |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Run no.                        | 015          | 027          | 018          | 018          |
| Temp. (°C)                     | 1270         | 1226         | 1220         | 1220         |
| Avg. of                        | 2            | 5            | 5            | 4            |
| Wt. (%)                        |              |              |              |              |
| SiO <sub>2</sub>               | 0.38 (0.53)* | 0.35 (0.48)  | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.00 (0.00)  | 1.07 (0.22)  | 0.86 (0.79)  | 12.08 (0.77) |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 53.60 (0.00) | 14.34 (0.51) | 13.06 (0.41) | 3.64 (0.37)  |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.14)  | 1.18 (0.34)  | 0.00 (0.00)  |
| tFeO                           | 25.51 (0.38) | 63.05 (0.44) | 65.79 (1.07) | 79.51 (0.87) |
| MnO                            | 0.00 (0.00)  | 4.31 (0.00)  | 0.57 (0.37)  | 0.00 (0.00)  |
| MgO                            | 20.52 (0.15) | 16.88 (0.14) | 18.54 (0.46) | 4.77 (0.29)  |
| Total                          | 100.00       | 100.00       | 100.00       | 100.00       |
| O=4                            |              |              |              |              |
| Si                             | 0.010        | 0.013        | 0.000        | 0.000        |
| Ti                             | 0.000        | 0.029        | 0.023        | 0.369        |
| Al                             | 1.715        | 0.610        | 0.563        | 0.174        |
| Cr                             | 0.000        | 0.000        | 0.035        | 0.000        |
| Fe                             | 0.578        | 1.906        | 2.018        | 2.707        |
| Mn                             | 0.000        | 0.124        | 0.018        | 0.000        |
| Mg                             | 0.830        | 0.910        | 1.013        | 0.290        |
| Total                          | 3.150        | 3.592        | 3.670        | 3.544        |

化學成分為重量百分濃度 (Wt.%)

\*括弧內之數字為標準差

(續) 表 3-2、鐵鎂尖晶石化學成分表

|                                |              |              |              |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Run no.                        | 016          | 008          | 008          |
| Temp. (°C)                     | 1200         | 1190         | 1190         |
| Avg. of                        | 3            | 3            | 3            |
| Wt. (%)                        |              |              |              |
| SiO <sub>2</sub>               | 0.58 (0.52)* | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  |
| TiO <sub>2</sub>               | 1.24 (0.15)  | 1.50 (0.20)  | 16.61 (0.17) |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 9.08 (0.28)  | 9.81 (1.67)  | 2.71 (0.15)  |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  |
| tFeO                           | 74.78 (0.42) | 71.15 (2.34) | 74.52 (0.40) |
| MnO                            | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  |
| MgO                            | 14.31 (0.37) | 17.54 (0.97) | 6.17 (0.12)  |
| Total                          | 100.00       | 100.00       | 100.00       |
| O=4                            |              |              |              |
| Si                             | 0.024        | 0.000        | 0.000        |
| Ti                             | 0.034        | 0.046        | 0.493        |
| Al                             | 0.417        | 0.437        | 0.129        |
| Cr                             | 0.000        | 0.000        | 0.000        |
| Fe                             | 2.430        | 2.262        | 2.458        |
| Mn                             | 0.000        | 0.000        | 0.000        |
| Mg                             | 0.830        | 0.993        | 0.365        |
| Total                          | 3.734        | 3.738        | 3.445        |

化學成分為重量百分濃度 (Wt.%)

\*括弧內之數字為標準差

(續) 表 3-2、鐵鎂尖晶石化學成分表

| Run no.                        | 029          | 029          | 012          | 012          |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Temp. (°C)                     | 1186         | 1186         | 1180         | 1180         |
| Avg. of                        | 11           | 8            | 1            | 2            |
| Wt. (%)                        |              |              |              |              |
| SiO <sub>2</sub>               | 0.00 (0.00)* | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  |
| TiO <sub>2</sub>               | 1.97 (0.38)  | 18.83 (1.27) | 1.79 (0.00)  | 16.26 (1.09) |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 8.29 (0.64)  | 2.17 (0.22)  | 9.06 (0.00)  | 2.79 (0.31)  |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.10 (0.22)  | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  |
| tFeO                           | 75.93 (0.92) | 74.04 (1.30) | 72.32 (0.00) | 75.05 (2.11) |
| MnO                            | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  |
| MgO                            | 13.70 (0.66) | 4.96 (0.22)  | 16.82 (0.00) | 5.90 (0.71)  |
| Total                          | 100.00       | 100.00       | 100.00       | 100.00       |
| O=4                            |              |              |              |              |
| Si                             | 0.000        | 0.000        | 0.000        | 0.000        |
| Ti                             | 0.057        | 0.557        | 0.054        | 0.483        |
| Al                             | 0.383        | 0.101        | 0.407        | 0.130        |
| Cr                             | 0.005        | 0.000        | 0.000        | 0.000        |
| Fe                             | 2.501        | 2.441        | 2.320        | 2.490        |
| Mn                             | 0.000        | 0.000        | 0.000        | 0.000        |
| Mg                             | 0.805        | 0.291        | 0.960        | 0.347        |
| Total                          | 3.750        | 3.391        | 3.747        | 3.453        |

化學成分為重量百分濃度 (Wt.%)

\*括弧內之數字為標準差

表 3-3、斜長石化學成分表

| Run no.                        | 015           | 127          | 018          | 016          | 008          |
|--------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Temp. (°C)                     | 1270          | 1226         | 1220         | 1200         | 1190         |
| Avg. of                        | 2             | 8            | 5            | 3            | 3            |
| Wt. (%)                        |               |              |              |              |              |
| SiO <sub>2</sub>               | 45.84 (0.87)* | 47.84 (0.26) | 47.73 (0.42) | 47.14 (0.67) | 47.41 (0.08) |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 34.08 (1.05)  | 33.26 (0.31) | 33.56 (0.55) | 33.63 (0.43) | 34.16 (0.32) |
| tFeO                           | 1.11 (0.44)   | 0.80 (0.15)  | 0.69 (0.40)  | 0.87 (0.59)  | 0.32 (0.55)  |
| CaO                            | 18.02 (0.95)  | 16.37 (0.33) | 16.16 (0.51) | 16.85 (0.09) | 16.36 (0.34) |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.95 (0.29)   | 1.73 (0.16)  | 1.86 (0.33)  | 1.51 (0.25)  | 1.75 (0.04)  |
| K <sub>2</sub> O               | 0.00 (0.00)   | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  |
| Total                          | 100.00        | 100.00       | 100.00       | 100.0        | 100.00       |
| O=8                            |               |              |              |              |              |
| Si                             | 2.120         | 2.194        | 2.190        | 2.168        | 2.170        |
| Al                             | 1.856         | 1.800        | 1.812        | 1.822        | 1.844        |
| Fe                             | 0.040         | 0.032        | 0.028        | 0.034        | 0.014        |
| Ca                             | 0.896         | 0.804        | 0.794        | 0.832        | 0.800        |
| Na                             | 0.090         | 0.154        | 0.164        | 0.136        | 0.158        |
| K                              | 0.000         | 0.000        | 0.000        | 0.000        | 0.000        |
| Total                          | 4.996         | 4.984        | 4.990        | 4.390        | 4.984        |
| An                             | 98            | 97           | 97           | 97           | 97           |
| Ab                             | 2             | 3            | 3            | 3            | 3            |
| Or                             | 0             | 0            | 0            | 0            | 0            |

化學成分為重量百分濃度 (Wt.%)

\*括弧內之數字為標準差

(續) 表 3-3、斜長石化學成分表

|                                |               |              |
|--------------------------------|---------------|--------------|
| Run no.                        | 029           | 012          |
| Temp. (°C)                     | 1186          | 1180         |
| Avg. of                        | 5             | 3            |
| Wt. (%)                        |               |              |
| SiO <sub>2</sub>               | 46.72 (0.76)* | 48.66 (0.84) |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 34.11 (0.46)  | 32.24 (1.08) |
| tFeO                           | 0.35 (0.48)   | 0.76 (0.67)  |
| CaO                            | 17.29 (0.41)  | 16.14 (0.44) |
| Na <sub>2</sub> O              | 1.52 (0.26)   | 2.19 (0.40)  |
| K <sub>2</sub> O               | 0.00 (0.00)   | 0.00 (0.00)  |
| Total                          | 100.00        | 100.00       |
| O=8                            |               |              |
| Si                             | 2.146         | 2.236        |
| Al                             | 1.848         | 1.742        |
| Fe                             | 0.018         | 0.032        |
| Ca                             | 0.850         | 0.796        |
| Na                             | 0.136         | 0.192        |
| K                              | 0.000         | 0.000        |
| Total                          | 4.996         | 4.996        |
| An                             | 86            | 81           |
| Ab                             | 14            | 19           |
| Or                             | 0             | 0            |

化學成分為重量百分濃度 (Wt.%)

\*括弧內之數字為標準差

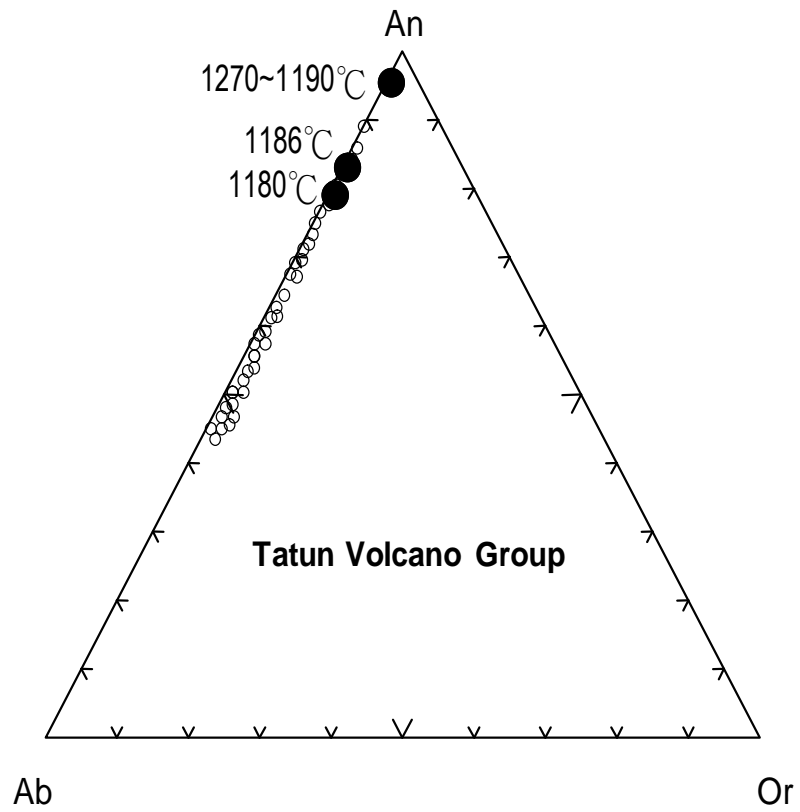


圖 3-14、一大氣壓下之斜長石成分與大屯火山群火成岩中斜長石之比較圖，●為一大氣壓下實驗結果，○為大屯火山群火成岩中之斜長石（陳正宏，1990）

### 3-1-4-3、橄欖石(Olivine)

一大氣壓下所晶出橄欖石之化學成分列如表 3-4，計算各溫度下其中鎂橄欖石(Fo)、鐵橄欖石(Fa)比例，在 1190°C 下 Fo 值為 95 與 53，在 1186°C 下 Fo 值為 94 與 57，在 1180°C 下 Fo 值為 96，隨溫度變化並無明顯趨勢。

### 3-1-4-4、鈦鐵礦(Ilmenite)

鈦鐵礦於一大氣壓下 1193°C 以下有發現，其化學成分列如表 3-5，鈦鐵礦以條帶狀生長於鐵鎂尖晶石的內部，在 SEM 下的灰階和富鎂的鐵鎂尖晶石接近。

### 3-1-4-5、斜輝石(Clinopyroxene)

斜輝石經過能量分散光譜儀分析後，其化學成分列於表 3-6。計算斜輝石的成分，將其繪於 En-Wo-Fs 三成分圖中(圖 3-15)，屬於普通輝石(Augite)(Morimoto, 1988)。

表 3-4、橄欖石化學成分。

|                  |               |        |              |              |              |
|------------------|---------------|--------|--------------|--------------|--------------|
| Run no.          | 008           | 008    | 029          | 029          | 012          |
| Temp. (°C)       | 1190          | 1190   | 1186         | 1186         | 1180         |
| Avg. of          | 6             | 1      | 5            | 3            | 3            |
| Wt. (%)          |               |        |              |              |              |
| SiO <sub>2</sub> | 41.83 (0.35)* | 30.93  | 41.72 (0.54) | 35.59 (1.24) | 41.80 (0.48) |
| tFeO             | 4.08 (1.08)   | 42.06  | 5.87 (0.60)  | 36.60 (1.59) | 4.30 (0.35)  |
| MgO              | 54.09 (1.17)  | 27.01  | 52.42 (0.24) | 27.81 (0.37) | 53.91 (0.75) |
| Total            | 100.00        | 100.00 | 100.00       | 100.00       | 100.00       |
| O=4              |               |        |              |              |              |
| Si               | 1.005         | 0.900  | 1.004        | 0.990        | 1.000        |
| Fe               | 0.100         | 1.020  | 0.118        | 0.853        | 0.087        |
| Mg               | 1.890         | 1.170  | 1.876        | 1.153        | 1.920        |
| Total            | 2.995         | 3.100  | 2.996        | 3.010        | 3.000        |
| Fo               | 95            | 53     | 94           | 57           | 96           |
| Fa               | 5             | 47     | 6            | 43           | 4            |

化學成分為重量百分濃度 (Wt.%)

\*括弧內之數字為標準差

表 3-5、鈦鐵礦化學成分。

|                                |               |              |
|--------------------------------|---------------|--------------|
| Run no.                        | 008           | 029          |
| Temp. (°C)                     | 1190          | 1186         |
| Avg. of                        | 2             | 5            |
| Wt. (%)                        |               |              |
| TiO <sub>2</sub>               | 46.32 (0.79)* | 44.80 (0.59) |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.33 (1.01)   | 2.85 (0.30)  |
| tFeO                           | 46.67 (0.76)  | 48.36 (0.46) |
| MgO                            | 4.35 (0.50)   | 3.84 (0.17)  |
| Total                          | 99.66         | 99.85        |
| O=6                            |               |              |
| Ti                             | 1.740         | 1.700        |
| Al                             | 0.140         | 0.168        |
| Fe                             | 1.950         | 2.043        |
| Mg                             | 0.330         | 0.288        |
| Total                          | 4.160         | 4.202        |

化學成分為重量百分濃度 (Wt.%)

\*括弧內之數字為標準差

表 3-6、斜輝石化學成分。

|                                |               |
|--------------------------------|---------------|
| Run no.                        | 012           |
| Temp. (°C)                     | 1180          |
| Avg. of                        | 6             |
| Wt. (%)                        |               |
| SiO <sub>2</sub>               | 51.31 (0.36)* |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.98 (0.16)   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3.51 (0.19)   |
| tFeO                           | 9.03 (1.87)   |
| MgO                            | 14.40 (0.28)  |
| CaO                            | 20.77 (1.28)  |
| Total                          | 100.00        |
| O=6                            |               |
| Si                             | 1.905         |
| Ti                             | 0.028         |
| Al                             | 0.152         |
| Fe                             | 0.282         |
| Mg                             | 0.797         |
| Ca                             | 0.825         |
| Total                          | 3.990         |
| Fs                             | 15            |
| En                             | 42            |
| Wo                             | 43            |
| Mg#                            | 74            |

化學成分為重量百分濃度 (Wt.%)

\*括弧內之數字為標準差

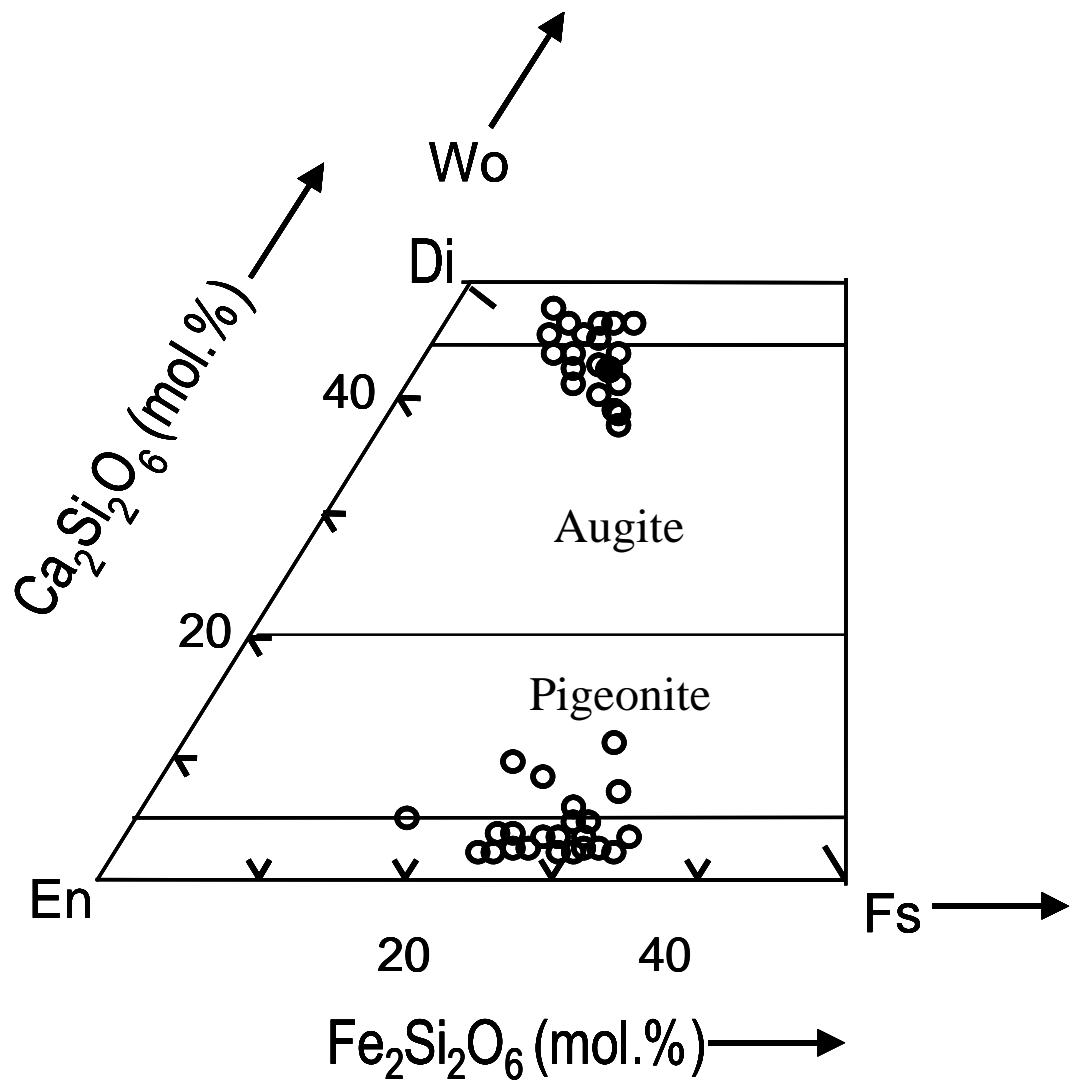


圖 3-15、一大氣壓下所生成之斜輝石成分圖 (●為一大氣壓下實驗結果，○為大屯火山群火成岩中之輝石)。(陳正宏，1990) (Morimoto，1988)

## 3-2、大屯火山地區烘爐山玄武岩質岩漿之演化

### 3-2-1、液相成分隨溫度之變化趨勢

一大氣壓下之殘餘岩漿成分列於表 3-7，把殘餘岩漿成份運用 Igpct06 程式計算殘餘岩漿應存礦物含量(表 3-7 下半部)，殘餘岩漿中各氧化物的成分因礦物相的晶出而發生變化。將殘餘岩漿的各種氧化物成分對實驗溫度作圖(圖 3-16)，並觀察變化。

1. 殘餘岩漿中的氧化鋁 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 在斜長石晶出後就持續減少，直到橄欖石晶出，氧化鋁含量才明顯增加。
2. 殘餘岩漿中的氧化鎂 ( $\text{MgO}$ ) 含量先減少後就持續增加，直到橄欖石晶出，含量才又減少。
3. 殘餘岩漿中的氧化矽 ( $\text{SiO}_2$ )、氧化鐵 ( $\text{tFeO}$ )、氧化鈣 ( $\text{CaO}$ )、氧化鉀 ( $\text{K}_2\text{O}$ )、氧化鈉 ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) 含量變化較大，無明顯趨勢。
4. 氧化矽 ( $\text{SiO}_2$ ) 與氧化鈣 ( $\text{CaO}$ ) 的變化情形完全相反，當氧化矽含量增加時，氧化鈣含量則相對減少。

表 3-7、一大氣壓下之玻璃化學成分

| Run no.                        | 32             | 15           | 27           | 18           | 16           |
|--------------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Temp. (°C)                     | 1275           | 1270         | 1226         | 1220         | 1200         |
| Avg. of                        | 3              | 3            | 2            | 2            | 2            |
| Wt. (%)                        |                |              |              |              |              |
| SiO <sub>2</sub>               | 54.72 (0.55) * | 52.62 (0.23) | 54.01 (0.37) | 52.75 (0.33) | 54.46 (0.37) |
| TiO <sub>2</sub>               | 1.43 (0.23)    | 1.73 (0.10)  | 1.71 (0.10)  | 1.90 (0.34)  | 1.62 (0.14)  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 18.15 (0.25)   | 18.13 (0.17) | 17.02 (0.04) | 17.00 (0.33) | 15.47 (0.27) |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.00 (0.00)    | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  |
| tFeO                           | 6.81 (0.19)    | 8.41 (0.22)  | 8.32 (0.53)  | 7.68 (0.52)  | 7.83 (0.40)  |
| MnO                            | 0.00 (0.00)    | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  |
| MgO                            | 5.64 (0.07)    | 5.21 (0.19)  | 5.94 (0.02)  | 6.56 (0.09)  | 7.61 (0.14)  |
| NiO                            | 0.00 (0.00)    | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  |
| CaO                            | 9.22 (0.20)    | 9.99 (0.13)  | 9.31 (0.07)  | 10.11 (0.11) | 9.18 (0.16)  |
| Na <sub>2</sub> O              | 2.57 (0.18)    | 2.25 (0.16)  | 2.20 (0.08)  | 2.54 (0.15)  | 2.25 (0.09)  |
| K <sub>2</sub> O               | 1.46 (0.05)    | 1.65 (0.04)  | 1.50 (0.03)  | 1.47 (0.17)  | 1.58 (0.11)  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.00 (0.00)    | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  |
| Total                          | 100.00         | 100.00       | 100.00       | 100.00       | 100.00       |
| C. I. P. W. Norm.              |                |              |              |              |              |
| Q                              | 4.01           | 1.57         | 4.03         | 6.13         | 2.89         |
| Or                             | 8.63           | 9.75         | 8.86         | 8.69         | 9.34         |
| Ab                             | 21.75          | 19.04        | 18.62        | 21.49        | 19.04        |
| An                             | 33.68          | 34.50        | 32.14        | 30.64        | 27.45        |
| Ne                             | 0.00           | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         |
| C                              | 0.00           | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         |
| Di                             | 9.88           | 12.45        | 11.56        | 15.94        | 14.74        |
| Hy                             | 19.35          | 19.40        | 21.56        | 19.51        | 23.47        |
| Ol                             | 0.00           | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         |
| Ilm                            | 2.72           | 3.29         | 3.25         | 3.61         | 3.08         |
| Ap                             | 0.00           | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         |
| Cm                             | 0.00           | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 0.00         |
| Mg#                            | 59.80          | 52.38        | 56.38        | 60.39        | 63.31        |

化學成分為重量百分濃度 (Wt.%)

\*括弧內之數字為標準差

a : C. I. P. W. Norm : 標準礦物組成之計算

b : Mg# = Mg/(Mg+Fe)\*100

(續) 表 3-7、一大氣壓下之玻璃化學成分

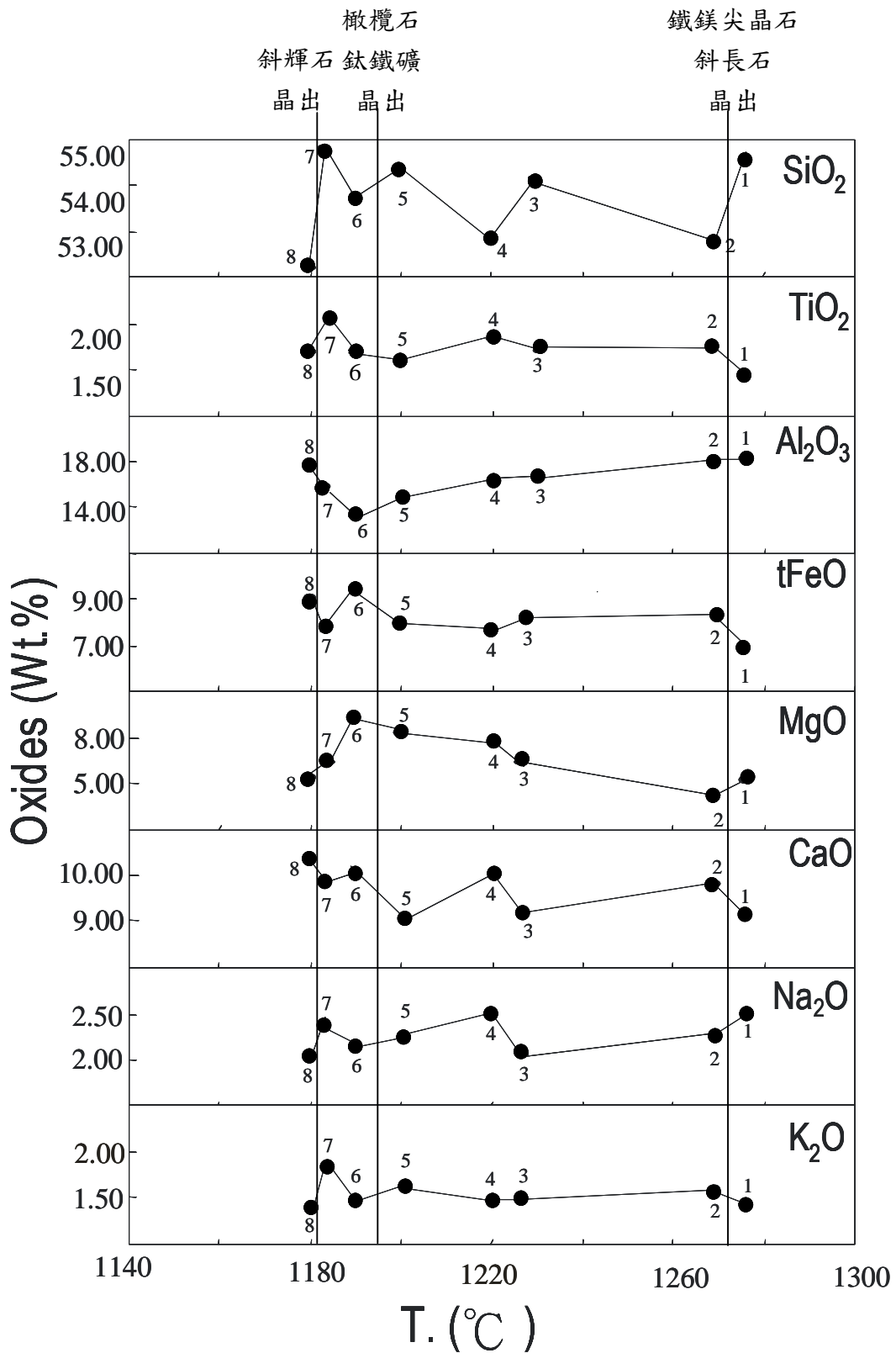
| Run no.                        | 08            | 29           | 12           |
|--------------------------------|---------------|--------------|--------------|
| Temp. (°C)                     | 1190          | 1186         | 1180         |
| Avg. of                        | 3             | 5            | 3            |
| Wt. (%)                        |               |              |              |
| SiO <sub>2</sub>               | 53.81 (0.16)* | 54.95 (0.09) | 52.10 (0.46) |
| TiO <sub>2</sub>               | 1.71 (0.18)   | 2.01 (0.47)  | 1.71 (0.35)  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 13.64 (0.03)  | 15.39 (0.31) | 17.58 (0.18) |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.00 (0.00)   | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  |
| tFeO                           | 9.19 (0.14)   | 7.35 (0.40)  | 9.09 (0.08)  |
| MnO                            | 0.00 (0.00)   | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  |
| MgO                            | 8.10 (0.11)   | 6.29 (0.19)  | 5.60 (0.18)  |
| NiO                            | 0.00 (0.00)   | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  |
| CaO                            | 9.97 (0.05)   | 9.64 (0.57)  | 10.46 (0.47) |
| Na <sub>2</sub> O              | 2.13 (0.24)   | 2.45 (0.06)  | 2.06 (0.00)  |
| K <sub>2</sub> O               | 1.45 (0.02)   | 1.91 (0.06)  | 1.39 (0.08)  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.00 (0.00)   | 0.00 (0.00)  | 0.00 (0.00)  |
| Total                          | 100.00        | 100.00       | 100.00       |
| C. I. P. W. Norm.              |               |              |              |
| Q                              | 1.67          | 3.57         | 1.45         |
| Or                             | 8.57          | 11.29        | 8.21         |
| Ab                             | 18.02         | 20.73        | 17.43        |
| An                             | 23.37         | 25.35        | 34.62        |
| Ne                             | 0.00          | 0.00         | 0.00         |
| C                              | 0.00          | 0.00         | 0.00         |
| Di                             | 21.33         | 18.33        | 14.29        |
| Hy                             | 23.79         | 16.89        | 20.74        |
| Ol                             | 0.00          | 0.00         | 0.00         |
| Ilm                            | 3.25          | 3.82         | 3.25         |
| Ap                             | 0.00          | 0.00         | 0.00         |
| Cm                             | 0.00          | 0.00         | 0.00         |
| Mg#                            | 60.99         | 62.09        | 52.63        |

化學成分為重量百分濃度 (Wt.%)

\*括弧內之數字為標準差

a : C. I. P. W. Norm : 標準礦物組成之計算

b :  $Mg\# = Mg/(Mg+Fe)*100$



1 : 1275°C ; 2 : 1270°C ; 3 : 1226°C ; 4 : 1220°C ; 5 : 1200°C ; 6 : 1190°C ; 7 : 1186°C ; 8 : 1180°C

1 : 純液相 ; 2 : 鐵鎂尖晶石與斜長石晶出 ; 6 : 橄欖石與鈦鐵礦晶出 ; 8 : 斜輝石晶出

圖 3-16、一大氣壓下液相成分隨溫度之變化趨勢圖。

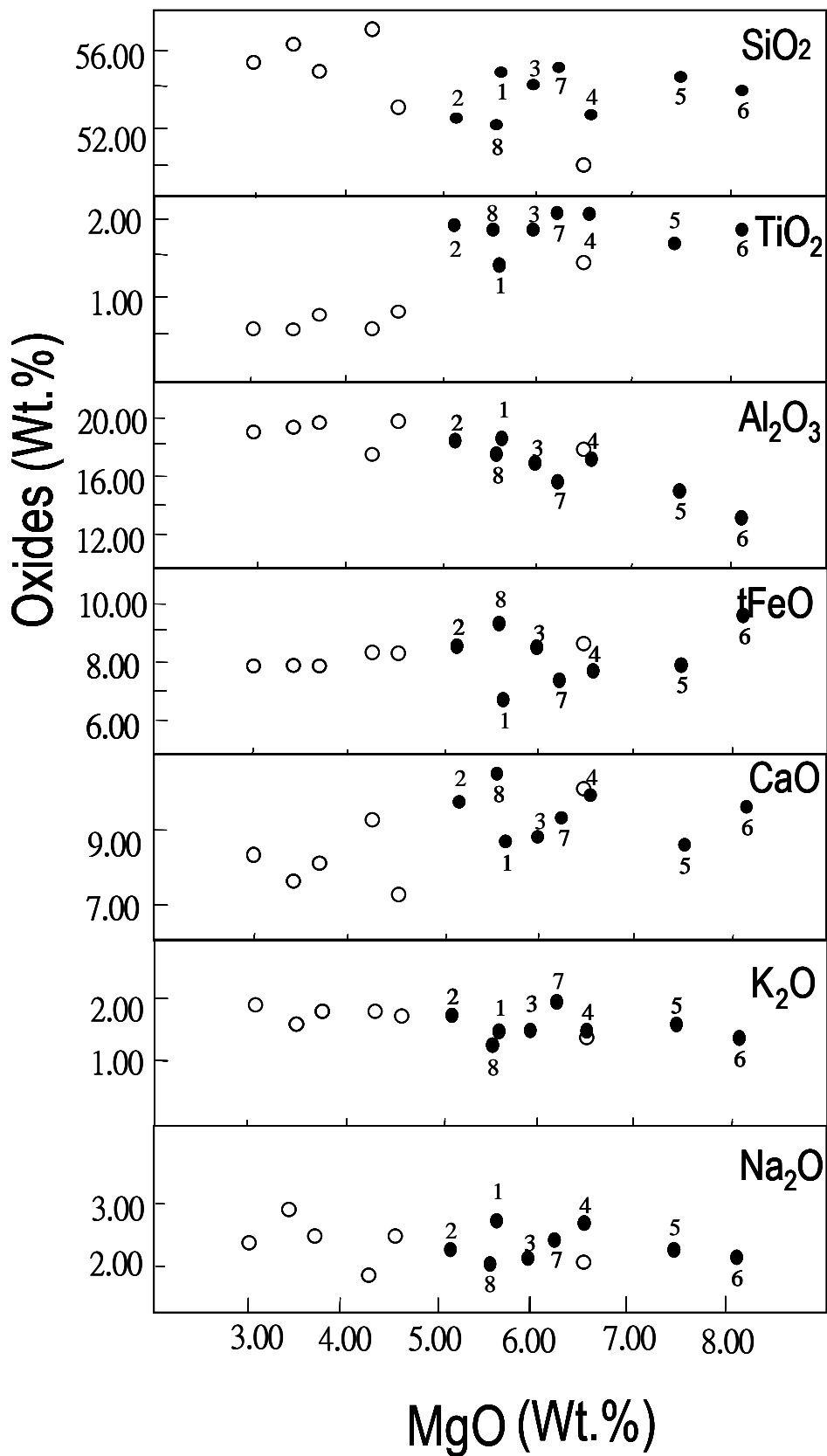
### 3-2-2、液相成分變化圖

將一大氣壓下之殘餘岩漿的個別氧化物成分對氧化鎂作圖，並與自然界大屯火山群中的火成岩相互比較（如圖 3-17）。

1. 一般認為高氧化鎂含量的岩漿屬於較原始的岩漿，經結晶分化可演化成低氧化鎂含量的岩漿（Chen，1975；Huang，1978）。本實驗全熔溫度下岩漿成分的氧化鎂含量，較大屯火山群中玄武岩之氧化鎂含量低，隨著溫度降低，氧化鎂含量先減少，後逐漸增加，直至晶出橄欖石後氧化鎂（圖 3-17 中的第 6 點）才再減少。
2. Chen（1975）指出，大屯火山群火成岩中二氧化矽含量隨著氧化鎂的減少而增加，（在圖 3-17 中圓圈所示），實驗結果顯示此火山群之岩漿演化，二氧化矽與氧化鎂含量變化關係不明顯。
3. 大屯火山群火成岩中氧化鈦含量隨著氧化鎂的減少而減少，在實驗結果中氧化鈦含量隨著氧化鎂的減少沒有太大的變化。而實驗結果氧化鈦含量都偏高，可能是兩者分析方法不同所造成。
4. 大屯火山群火成岩顯示，隨著岩漿中氧化鎂含量的減少，氧化鋁有增加的趨勢，若不考慮溫度的高低，實驗結果當

氧化鎂含量減少，氧化鋁增加的趨勢更明顯。

5. 若不考慮溫度的高低，隨著岩漿中氧化鎂的減少，氧化鐵有減少的趨勢。
6. 大屯火山群火成岩顯示，隨著岩漿中氧化鎂含量的減少，氧化鈣也有減少的趨勢，若不考慮溫度的高低，實驗結果當氧化鎂含量減少，氧化鈣略有增加。
7. 若不考慮溫度的高低，隨著岩漿中氧化鎂的減少，氧化鉀與氧化鈉有增加的趨勢。
8. 在分析火成岩的化學成分時，會利用成分變化圖來討論火成岩之成份變化，但是實驗結果顯示，若考慮溫度的高低變化，則結果變的更為複雜。



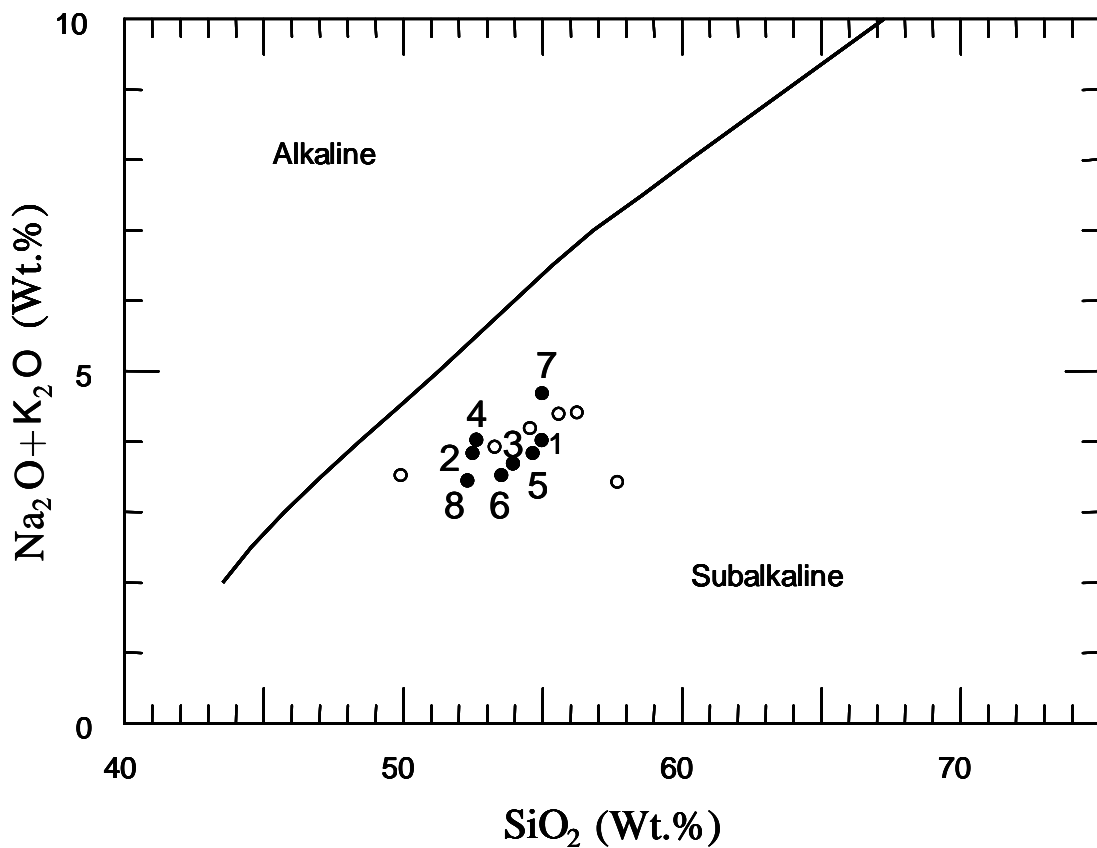
1 : 1275°C ; 2 : 1270°C ; 3 : 1226°C ; 4 : 1220°C ; 5 : 1200°C ; 6 : 1190°C ; 7 : 1186°C ;  
8 : 1180°C

1 : 純液相 ; 2 : 鐵鎂尖晶石與斜長石晶出 ; 6 : 橄欖石與鈦鐵礦晶出 ; 8 : 斜輝石晶出

圖 3-17、一大氣壓下之液相成分變化圖，●為實驗結果，○為大屯火山群之火成岩 (陳正宏，1990)。

### 3-2-3、 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 圖

將一大氣壓下之殘餘岩漿成份點入  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  圖(圖 3-18)，顯示在一大氣壓下，殘餘岩漿成份落入次鹼性岩 (Subalkaline) 範圍。



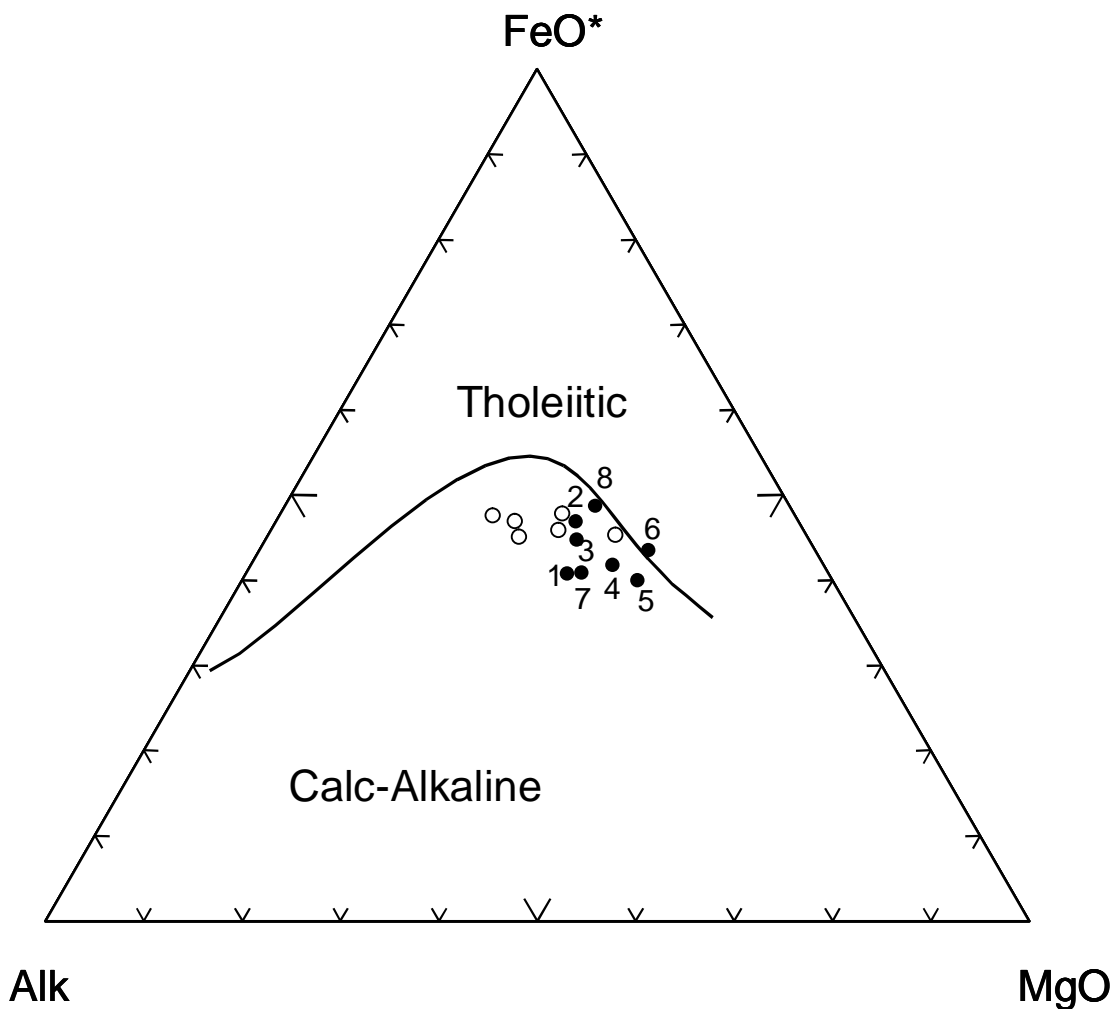
1 : 1275°C ; 2 : 1270°C ; 3 : 1226°C ; 4 : 1220°C ; 5 : 1200°C ; 6 : 1190°C ; 7 : 1186°C ; 8 : 1180°C

1 : 純液相 ; 2 : 鐵鎂尖晶石與斜長石晶出 ; 6 : 橄欖石與鈦鐵礦晶出 ; 8 : 斜輝石晶出

圖 3-18、一大氣壓下殘餘岩漿成分之  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ ，●為實驗結果，○為大屯火山群之火成岩。(陳正宏，1990) (MacDonald and Katsuna，1964)

### 3-2-4、鹼金族氧化物-全量鐵-氧化鎂圖 (AFM 圖)

將一大氣壓下的殘餘岩漿成分點入 AFM 圖 (圖 3-19)，集中分布於三角形中央部位，岩漿成分分布於鈣鹼岩系 (Calc-alkaline series) 區域，隨著岩漿結晶分化，殘餘岩漿成分分布在中心地帶。



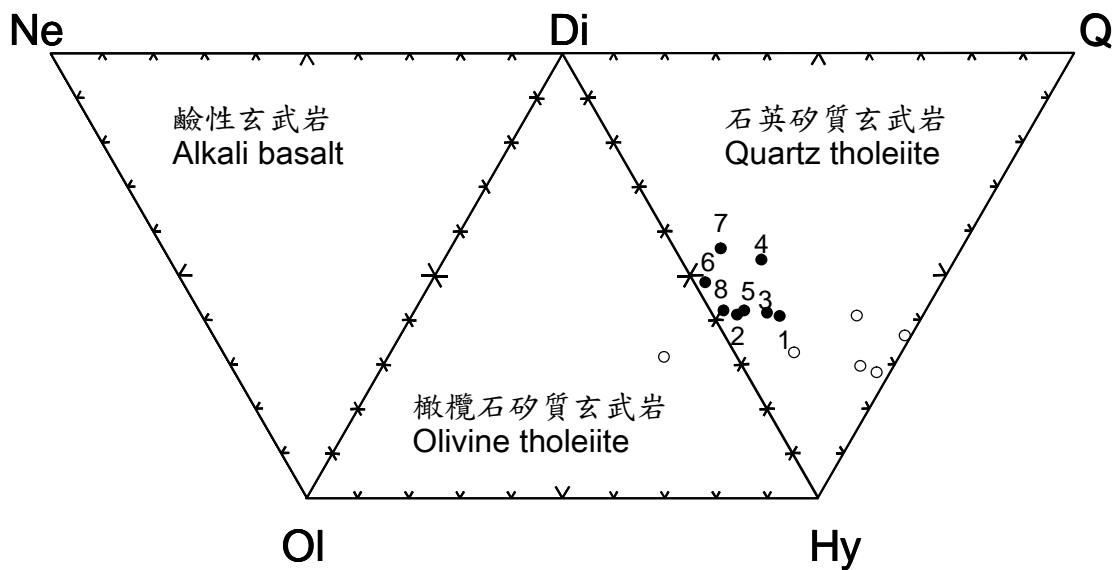
1: 1275°C ; 2: 1270°C ; 3: 1226°C ; 4: 1220°C ; 5: 1200°C ; 6: 1190°C ; 7: 1186°C ; 8: 1180°C

1: 純液相 ; 2: 鐵鎂尖晶石與斜長石晶出 ; 6: 橄欖石與鈦鐵礦晶出 ; 8: 斜輝石晶出

圖 3-19、一大氣壓下殘餘岩漿之 AFM 圖，●為實驗結果，○為大屯火山群之火成岩。(陳正宏，1990)。

### 3-2-5、殘餘岩漿玄武岩四面體圖

用 Igpct06 程式計算殘餘岩漿應存礦物含量，如表 3-7 下方所示，並將值點入玄武岩四面體圖中（圖 3-20），發現本實驗的殘餘岩漿，均屬於石英矽質玄武岩（Quartz Tholeiite），且隨岩漿的演化，應存礦物中透輝石含量有增加的趨勢，而大屯火山群火成岩則有由橄欖石矽質玄武岩演化至石英矽質玄武岩的趨勢，石英含量增加。



Ne=nepheline(霞石)；Di=diopside(透輝石)；Ol=Olivine(橄欖石)

Hy=hypersthene(紫蘇輝石)；Qz=Quartz(石英)

1：1275°C；2：1270°C；3：1226°C；4：1220°C；5：1200°C；6：1190°C；7：1186°C；8：1180°C

1：純液相；2：鐵鎂尖晶石與斜長石晶出；6：橄欖石與鈦鐵礦晶出；8：斜輝石晶出

圖 3-20、一大氣壓下玻璃應存礦物成分圖，●為實驗結果，○為大屯火山群之火成岩。(陳正宏，1990)(Yoder and Tilley，1962)。