

第三章 結果與討論

3-1、岩象學研究

3-1-1、岩象學分析

本研究採樣的地點為澎湖北寮地區，採集到的玄武岩樣本外觀為灰黑色(圖 3-1)，岩石組成緻密，沒有氣孔，斑晶組成有橄欖石(Olivine)、斜輝石(Clinopyroxene)，石基中大多為斜長石。

將採集的岩石樣本製成薄片後，於顯微鏡下觀察，發現岩石中散佈不透光之粒狀磁鐵礦，結晶大小約 0.1~0.2mm(圖 3-2)；橄欖石呈斑晶狀出現，結晶大小約 1~2mm(圖 3-3)；斜輝石結晶最大可至 5mm(圖 3-4)。斜長石則是構成岩基的主要礦物，結晶大小約 0.2~0.3mm(圖 3-5)。

3-1-2、全岩化學分析

以 X 光螢光分析法(X.R.F.)分析本實驗全岩成分，如表 3-1 所示，表左欄為本實驗樣本(潘建熾,2003)，右欄為李寄嶠(1994)之分析。本實驗與李寄嶠(1994)所採 PH-04 樣本之化學成分及應存礦物比例相近，本實驗燒失量(L.O.I.)為 2.94%。本實驗與李寄嶠(1994)樣本全岩成分，An 值分別為 75.01 及 68.00。

依據 SiO_2 對 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 含量作圖(圖 3-6)，本實驗與李寄嶠(1994)樣本均屬於鹼性玄武岩。經 C.I.P.W.方法計算應存礦物比例，投影至玄武岩四面體(Yoder and Tilley, 1962)，亦均屬於鹼性玄武岩(Alkali basalt)(圖 3-7)。

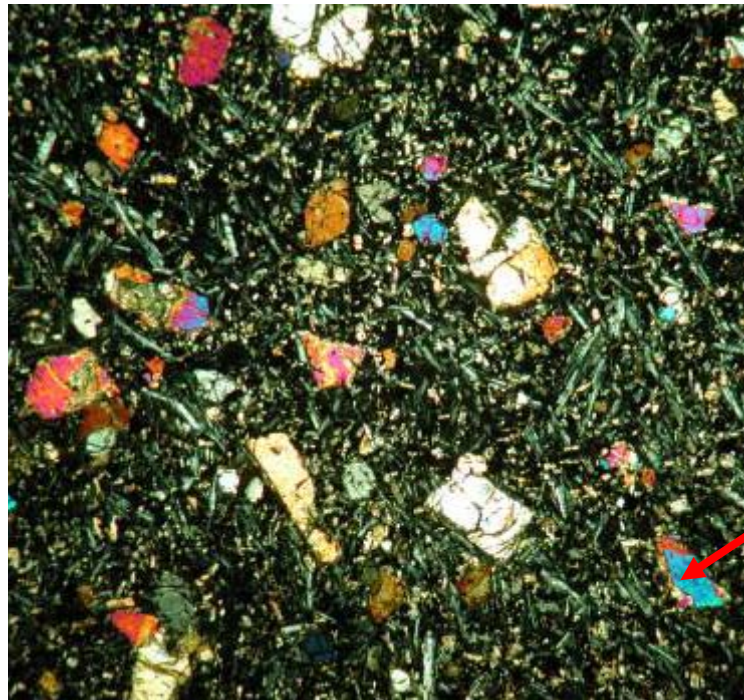


圖 3-1、澎湖北寮地區玄武岩，外觀為灰黑色



粒狀磁鐵礦

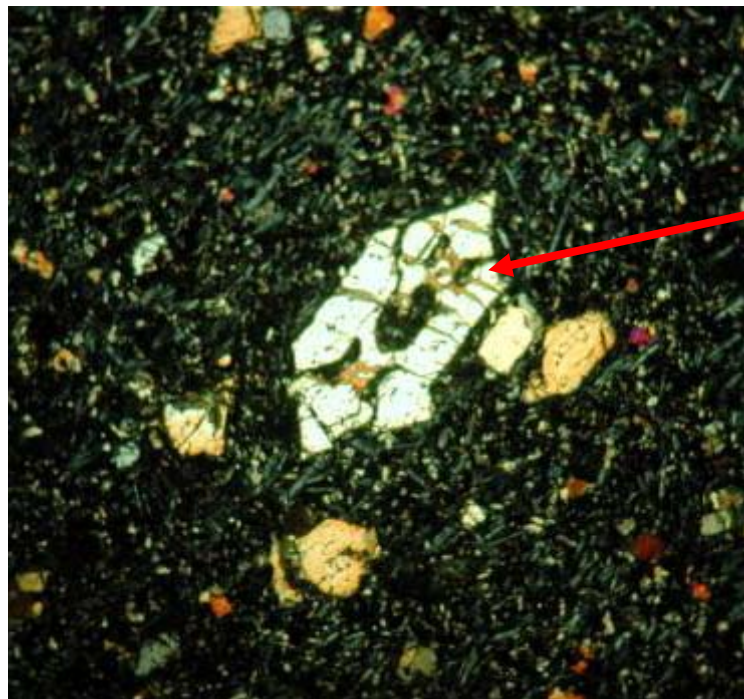
圖 3-2、澎湖北寮玄武岩岩石薄片中之粒狀磁鐵礦（正交偏光）



橄欖石

1mm

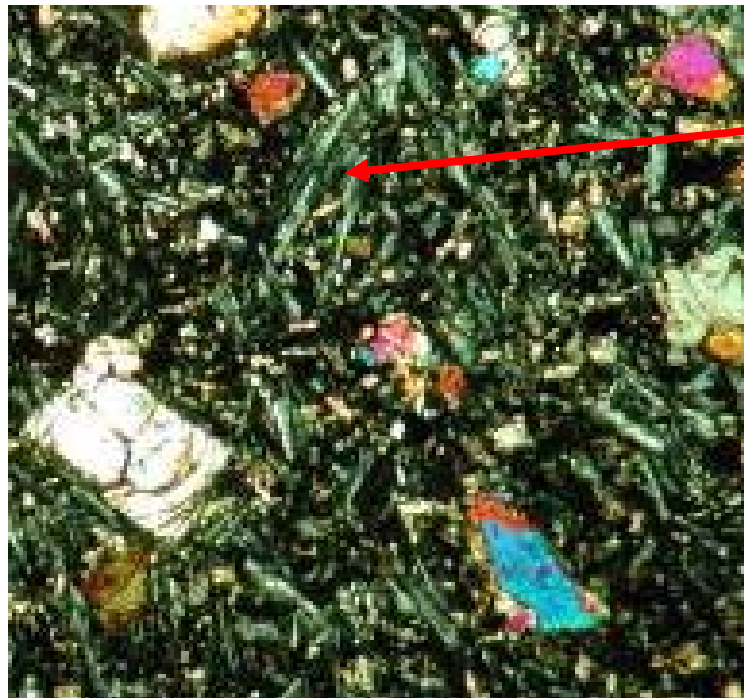
圖 3-3、澎湖北寮玄武岩岩石薄片中之橄欖石斑晶（交叉偏光）



斜輝石

1mm

圖 3-4、澎湖北寮玄武岩岩石薄片中之斜輝石（交叉偏光）



斜長石

←→
1mm

圖 3-5、澎湖北寮玄武岩岩石薄片中之斜長石（交叉偏光）

表 3-1、澎湖北寮地區玄武岩全岩化學成分

Sample	本文 ^a	李寄嶠 ^b
Wt. %		
SiO ₂	42.61	42.90
TiO ₂	3.52	3.31
Al ₂ O ₃	12.67	13.40
tFeO ^c	15.96	16.14
MnO	0.18	0.19
MgO	10.10	9.64
CaO	9.42	10.22
Na ₂ O	3.00	2.85
K ₂ O	1.58	1.26
P ₂ O ₅	0.03	0.73
L.O.I. ^d	2.94	1.13
Total	102.01	101.77
C.I.P.W. Norm		
Q	0.00	0.00
Or	9.34	7.45
Ab	5.72	9.43
An	16.44	20.05
Ne	10.65	7.95
Di	24.56	21.20
Hy	0.00	0.00
Ol	21.58	22.80
Il	6.69	6.29
Ap	0.07	1.69
L.O.I.	2.94	1.13
Total	97.99	97.98
An	75.01	68.00

a: 引用潘建熾(2003)分析資料

b: 李寄嶠(1994), 樣本 PH-04

c: 全量鐵以 tFeO 表示

d: L.O.I.= Loss on ignition

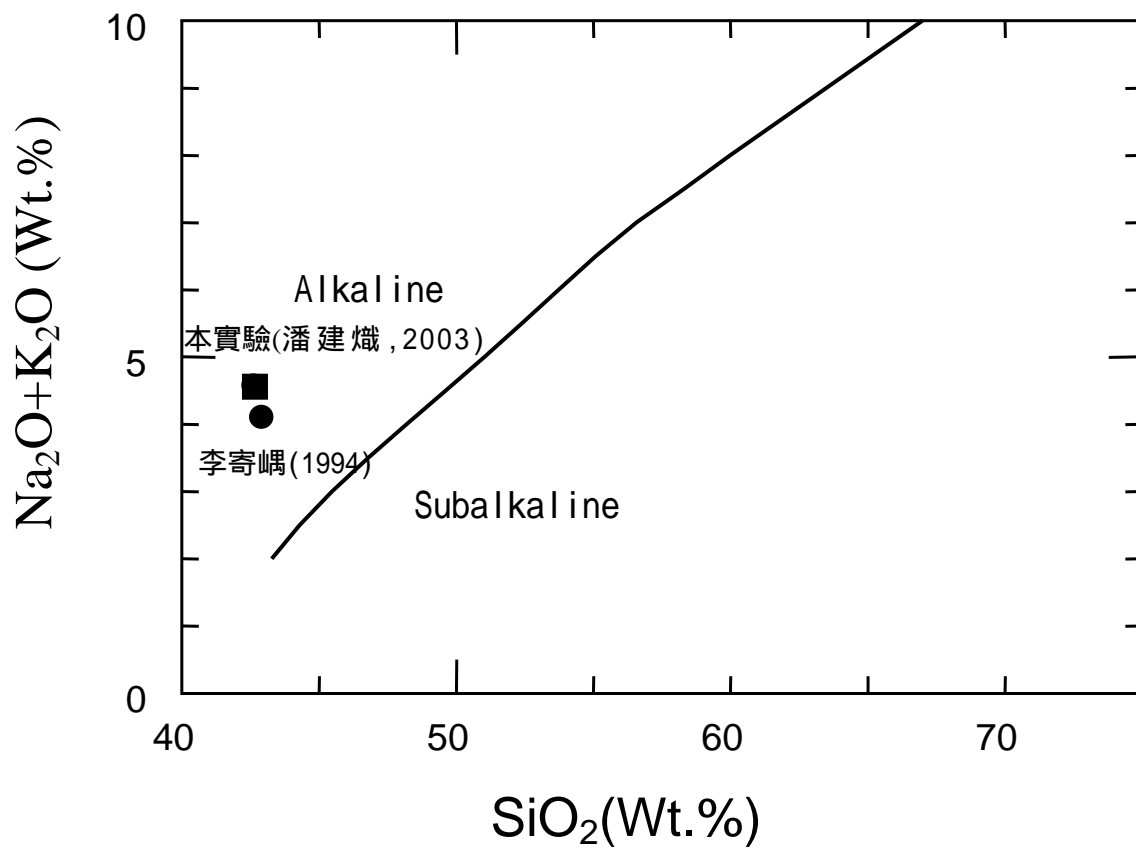
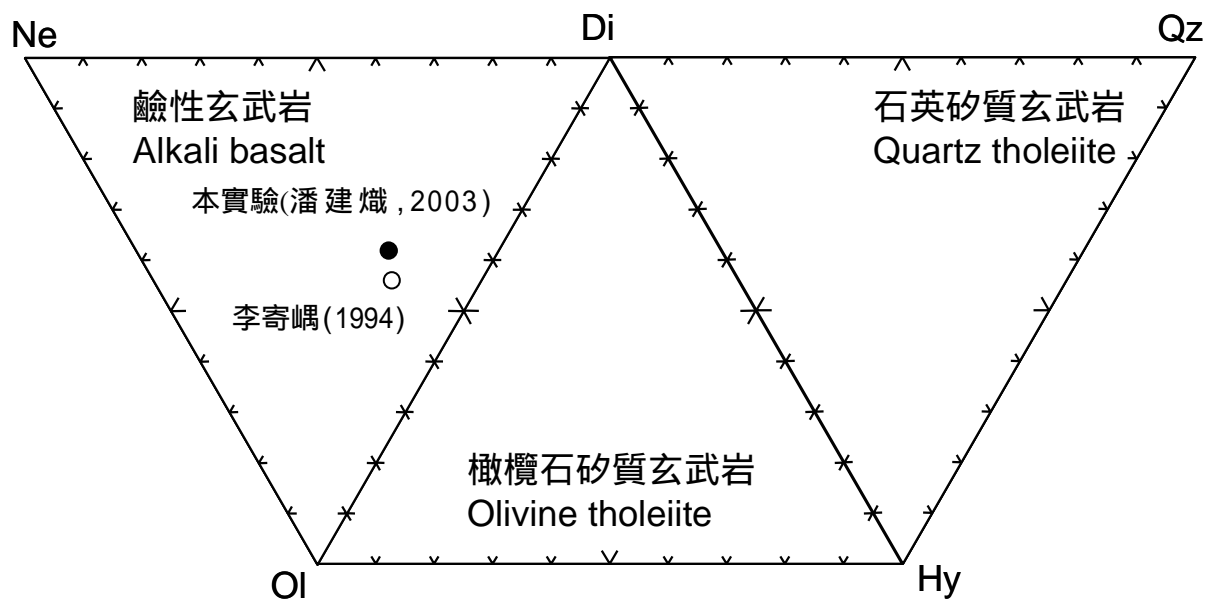


圖 3-6、澎湖北寮地區鹼金屬氧化物對二氧化矽作圖
(MacDonald and Katsuna , 1964)



Ne=nepheline (霞石) ; Di=diopside (透輝石) ; Qz=quartz (石英) ;
 Ol=olivine (橄欖石) ; Hy=hypersthene (紫蘇輝石)

圖 3-7、澎湖北寮地區之玄武岩四面體投影圖
 (Yoder and Tilley , 1962)

3-2、實驗岩石學研究

3-2-1、結晶順序與熔融區間

3-2-1-1、0.5 及 1.0 京帕下之實驗

0.5 及 1.0 京帕下之實驗結果列於表 3-2，澎湖北寮地區玄武岩質岩漿在 1.0 京帕下礦物的結晶順序為：首先在 1290 °C 時晶出斜輝石，至 1270 °C 時晶出橄欖石，在 1250 °C 晶出尖晶石，當溫度在 1190 °C 時鈦鐵氧化物晶出，1.0 京帕下各相結晶溫度與順序見圖 3-8，與包溫氏反應系列先晶出橄欖石不同，這是因為本研究是在高壓環境下生成的緣故。因此，本玄武岩質岩漿於 1.0 京帕下的液相溫度為 1290 °C，而固相溫度約略低於 1180 °C，熔融區間約為 110 °C。

3-2-1-2、1.5 京帕下之實驗

1.5 京帕下之實驗結果列於表 3-2，澎湖北寮地區玄武岩質岩漿在 1.5 京帕下礦物的結晶順序為：首先在 1310 °C 時晶出斜輝石，在 1250 °C 晶出斜長石，1.5 京帕下各相結晶溫度與順序見圖 3-9。因此，本玄武岩質岩漿於 1.5 京帕下的液相溫度為 1310 °C，而固相溫度約略低於 1240 °C，熔融區間約為 70 °C。

3-2-1-3、溫度壓力圖

將一大氣壓下(潘建熾,2003)與 0.5 京帕、1.0 京帕、1.5 京帕等高壓下之實驗結果，繪製成溫度壓力圖(圖 3-10)，發現一大氣壓下的液相溫度(1362 °C)高於 1.0 京帕(1290 °C)以及 1.5 京帕的液相溫度(1310 °C) (圖 3-10)。一般而言，在無水條件之下，液相溫度會隨著壓力上升而增加(Myron and Eric,2001)，而本研究之常壓下實驗為無水實驗，但是在高壓下之實驗為密閉環境，雖然沒有加水，不過澎湖北寮地區

表 3-2、高壓實驗結果

Run No.	P(GPa)	Temperature()	Duration(h:min)	Phase(s) ^a
001	0.5	1240	6:00	Gl+Cpx+OX
002	0.5	1200	6:00	Gl+Cpx+OX
003	0.5	1160	6:00	Gl+Cpx+OX
013	1.0	1300	6:00	Gl
006	1.0	1280	6:00	Gl+Cpx
015	1.0	1260	6:00	Gl+Cpx+Ol
005	1.0	1240	6:00	Gl+Cpx+Ol+Sp
018	1.0	1220	6:00	Gl+Cpx+Ol+Sp
004	1.0	1200	6:00	Gl+Cpx+Ol+Sp
019	1.0	1180	6:00	Gl+Cpx+Ol+Sp+Ox
009	1.5	1320	6:00	Gl
012	1.5	1300	6:00	Gl+Cpx
008	1.5	1280	6:00	Gl+Cpx
011	1.5	1260	6:00	Gl+Cpx
007	1.5	1240	6:00	Gl+Pl

^a Cpx: Clinopyroxene; Gl: Glass; Ol: Olivine; Ox: Ti-Fe Oxides; Pl: Plagioclase; Sp: Spinel

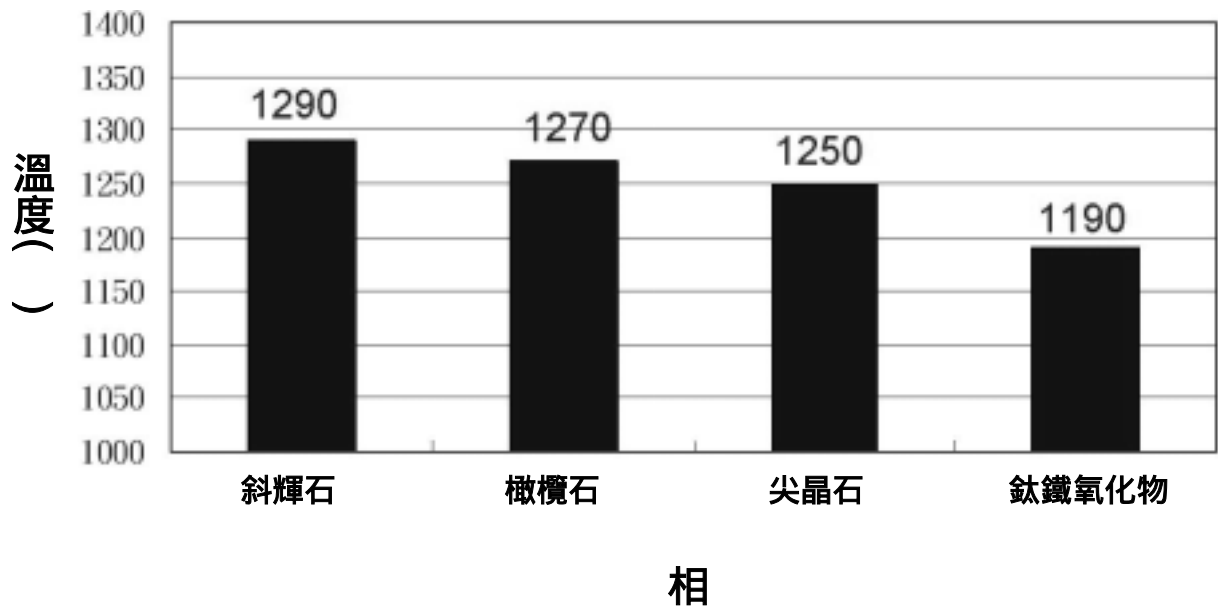


圖 3-8、澎湖北寮地區玄武岩 1 京帕實驗結晶次序圖

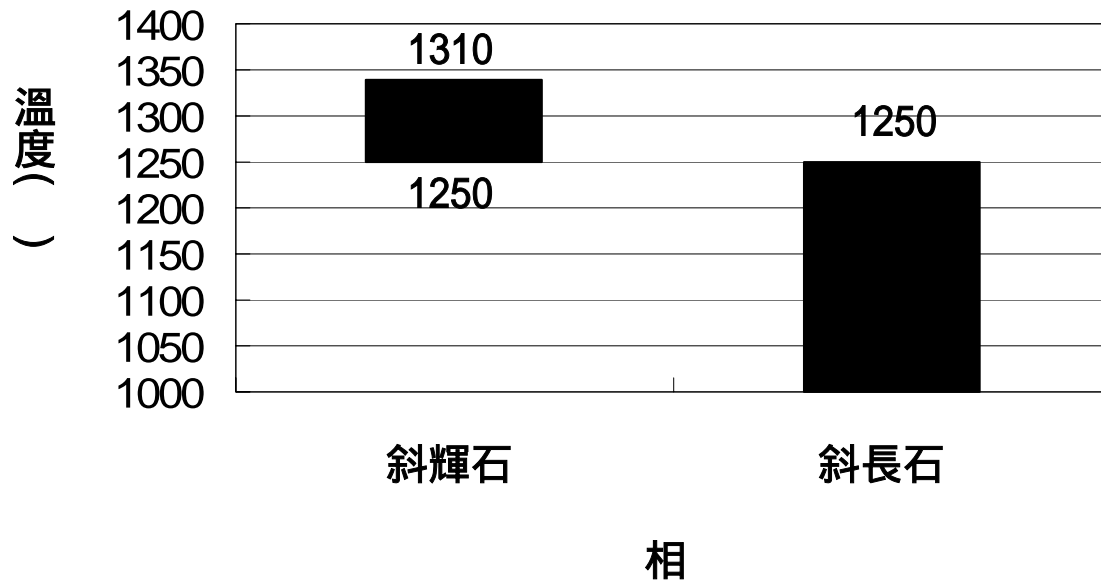


圖 3-9、澎湖北寮地區玄武岩 1.5 京帕實驗結晶次序圖

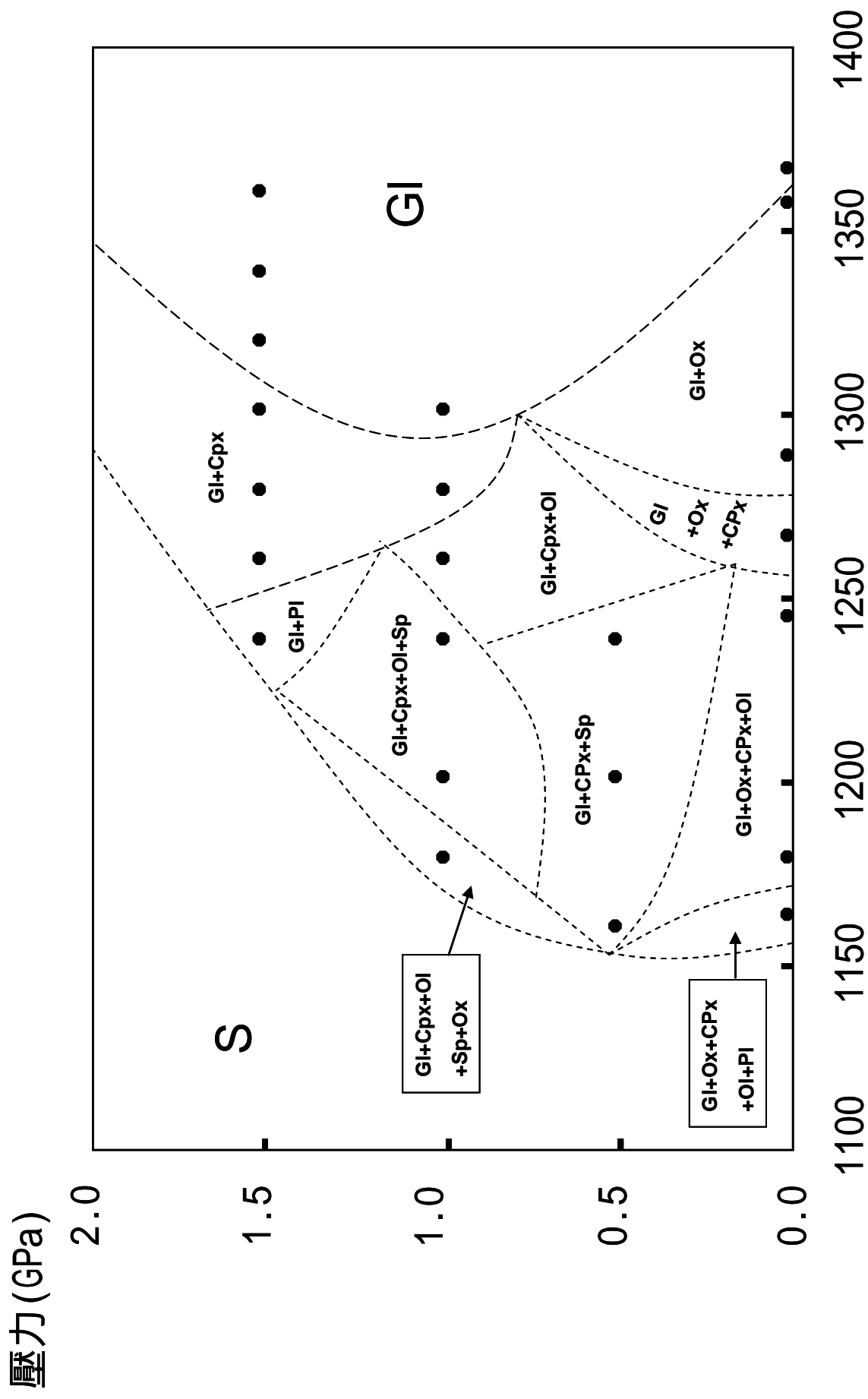


圖 3-10、澎湖北寮地區玄武岩之溫度壓力圖 (簡寫同表 3-2)

溫度 ()

玄武岩本身已經含 2.94% 之揮發份(表 3-1)，因此圖中之液相溫度隨著壓力上升，先降後升。

潘建熾(2003)發現，在一大氣壓下之液相礦物為鈦鐵氧化物，而高壓下最早晶出的礦物是斜輝石。而斜輝石、橄欖石、鈦鐵氧化物都在一大氣壓及 1.0 京帕壓力下出現，其中斜輝石到 1.5 京帕下仍有出現，說明這些礦物可在一大氣壓至 1.0 京帕下生成，斜輝石則可在一大氣壓至 1.5 京帕下生成。而 1.5 京帕下的斜輝石只出現在 1350 ~1250 之間，之後與岩漿反應消失。

3-2-2、反射式電子影像分析

3-2-2-1、1.0 京帕下的反射式電子影像分析

將 1.0 京帕下的實驗光片，依溫度不同由高溫至低溫，選定相後經能量分散光譜儀(EDS, Energy Dispersive Spectrum)的分析結果，分述如下：圖 3-11 為 1.0 京帕、1300 的反射式電子影像圖，當中只發現玻璃相的存在；圖 3-12 為 1.0 京帕、1280 的反射式電子影像圖，其中的兩個相分別為玻璃與斜輝石；圖 3-13 為 1.0 京帕、1260 的反射式電子影像圖，其中的三個相分別為玻璃、斜輝石與橄欖石；1240 至 1200 皆出現四個相(圖 3-14)分別為玻璃、斜輝石、橄欖石與尖晶石；在 1180 則有五個相(圖 3-15)分別為玻璃、斜輝石、橄欖石、尖晶石與鈦鐵氧化物。因此 1.0 京帕下光片樣本中相的出現順序為：玻璃相、斜輝石相、橄欖石相、尖晶石相、鈦鐵氧化物相，隨著實驗溫度下降，晶出的礦物量增加。

3-2-2-2、1.5 京帕下的反射式電子影像分析

同樣將 1.5 京帕下的實驗光片，取得反射式電子影像

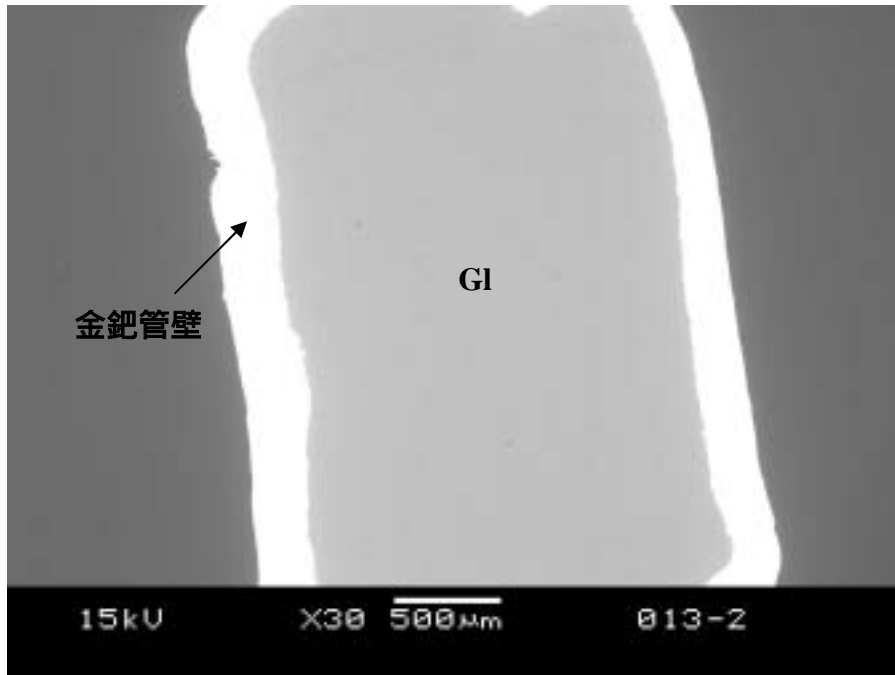


圖 3-11、1.0 京帕、1300 下之反射式電子影像圖，放大倍率為 30 倍，圖中全為玻璃(GI)相。

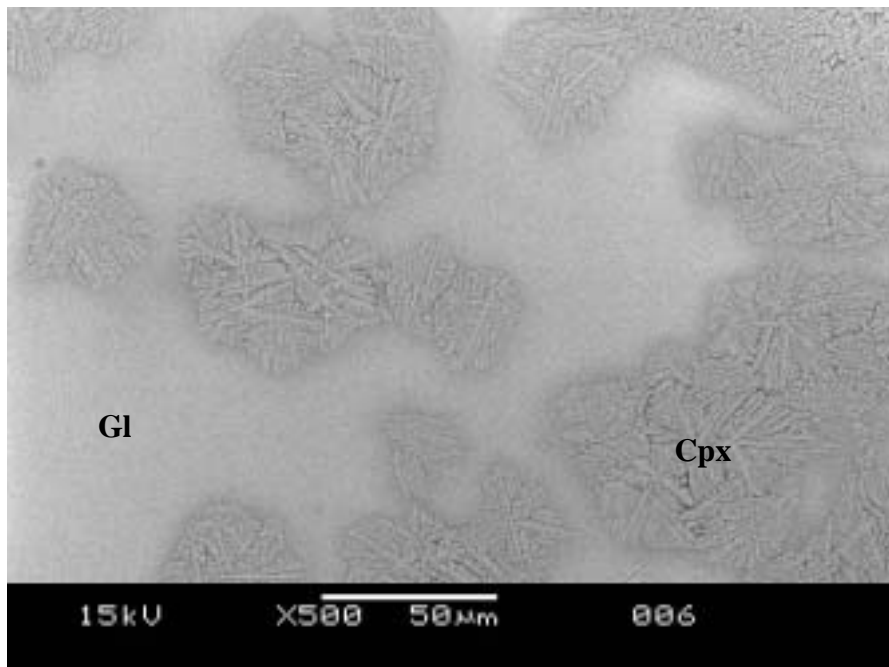


圖 3-12、1.0 京帕、1280 下之反射式電子影像圖，放大倍率為 500 倍，圖中為玻璃(GI)+斜輝石(Cpx)相。

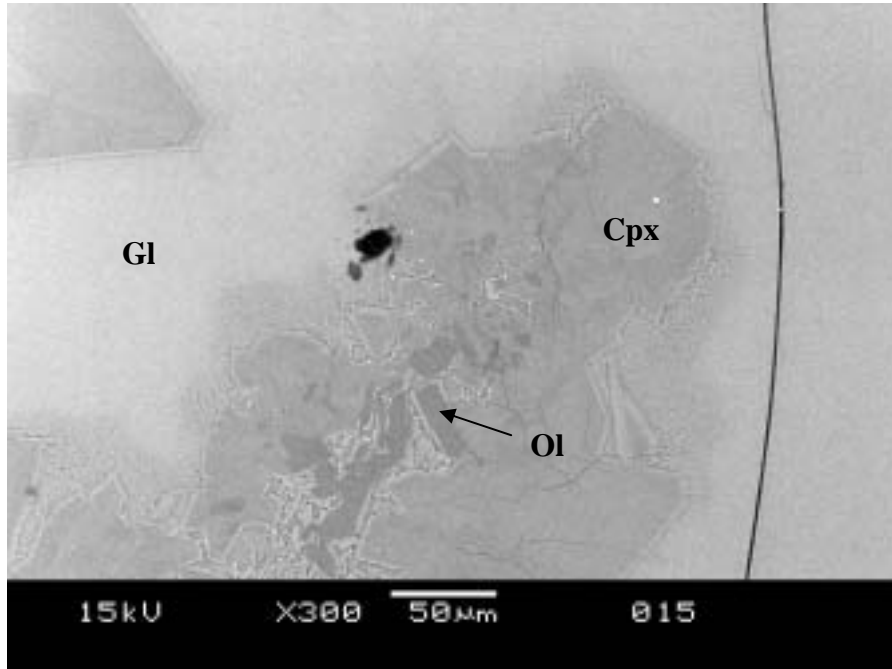


圖 3-13、1.0 京帕、1260 下之反射式電子影像圖，放大倍率為 300 倍，圖中為玻璃(Gl)+斜輝石(Cpx)+橄欖石(Ol)相。

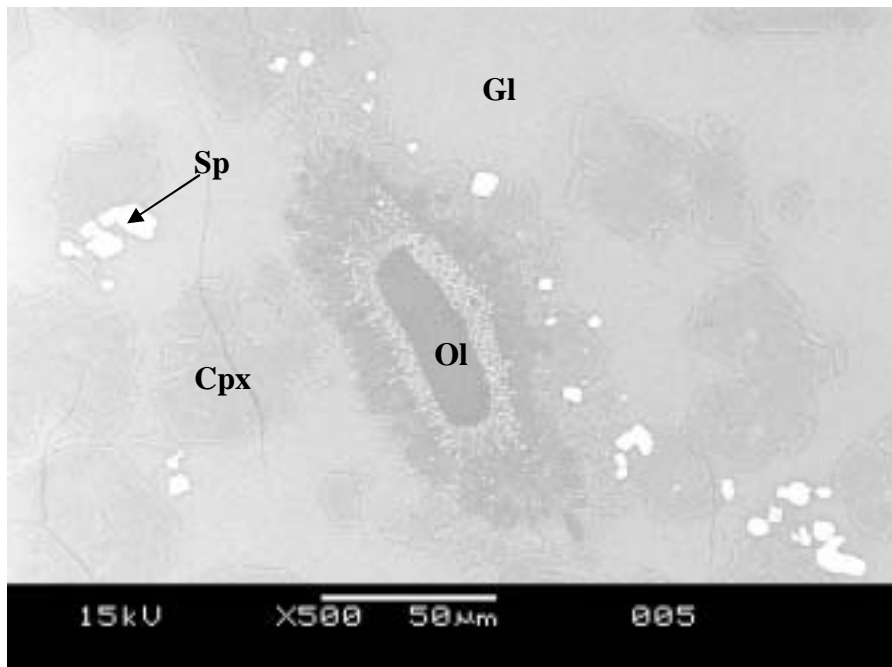


圖 3-14、1.0 京帕、1240 下之反射式電子影像圖，放大倍率為 500 倍，圖中為玻璃(Gl)+斜輝石(Cpx)+橄欖石(Ol)+尖晶石相(Sp)。

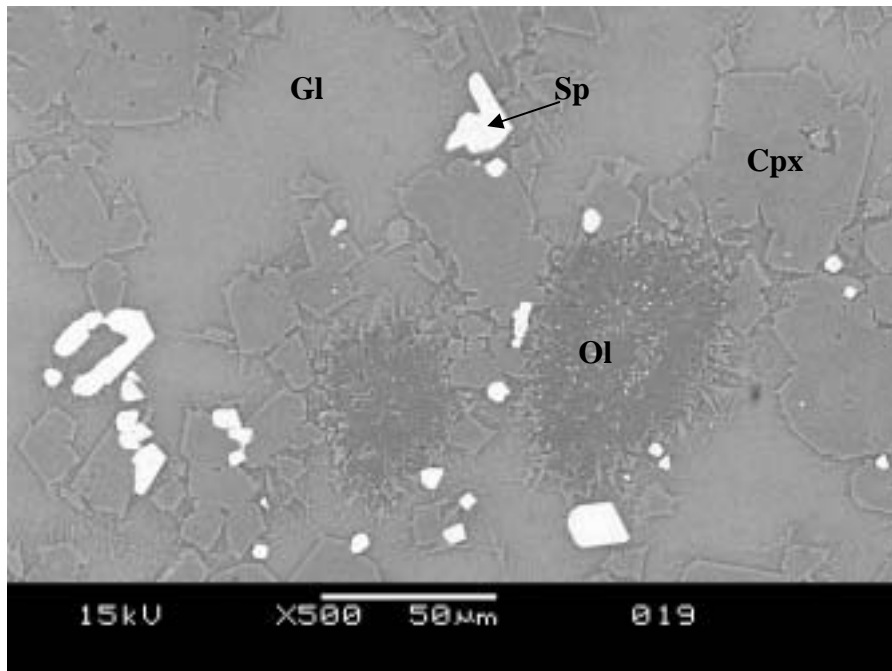


圖 3-15、1.0 京帕、1180 下之反射式電子影像圖，放大倍率為 500 倍，玻璃(Gl)+斜輝石(Cpx)+橄欖石(ol)+尖晶石(Sp)相。照片中未拍到鈦鐵氧化物(Ox)相

圖，並依溫度不同由高溫至低溫，選定相後經能量分散光譜儀的分析結果，分述如下：1320 只有玻璃相的存在；1300 的兩個相分別為玻璃與斜輝石；圖 3-16 與圖 3-17 為 1.5 京帕、1280 與 1260 的反射式電子影像圖，其中的兩個相分別為玻璃與斜輝石；圖 3-18 為 1.5 京帕、1240 的反射式電子影像圖，其中的兩個相分別為玻璃與斜長石。因此 1.5 京帕下相的出現順序為：玻璃相、斜輝石相、斜長石相。

3-2-3、礦物化學

高溫高壓實驗中，晶出的礦物成分對於殘餘岩漿成分的變化有很大的影響，本實驗針對斜輝石、橄欖石、尖晶石、斜長石、鈦鐵氧化物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，進而瞭解其對岩漿成分演化之影響。

3-2-3-1、斜輝石(Clinopyroxene)

斜輝石在 1.0 京帕、1.5 京帕下皆有晶出，經過能量分散光譜儀分析後，列於表 3-3 與表 3-4，將各溫度壓力下結晶斜輝石之化學成分，以六個氧為單位計算其陽離子數，如各表下方所示。再計算斜輝石成分，鈣(Ca)、鎂(Mg)、鐵(Fe)含量比例，可繪成 Wo-En-Fs 圖，並將三個壓力下的斜輝石化學成分分別繪入 En-Wo-Fs 三成分圖(圖 3-19)。在一大氣壓下晶出之斜輝石其成分分佈於次透輝石(Salite)及普通輝石(Augite)，而 1.0 京帕及 1.5 京帕下所晶出之斜輝石成分則皆落於普通輝石(Augite)。如果將實驗所晶出的斜輝石成分與前人研究做比較，發現在一大氣壓、1.0 京帕及 1.5 京帕下所合成的斜輝石成分與李寄嶼(1994)分析之鹼性玄武岩中斜輝石成分相近(圖 3-19)，表示在一大氣壓至 1.5 京帕壓力範圍內都可生成天然的斜輝石。

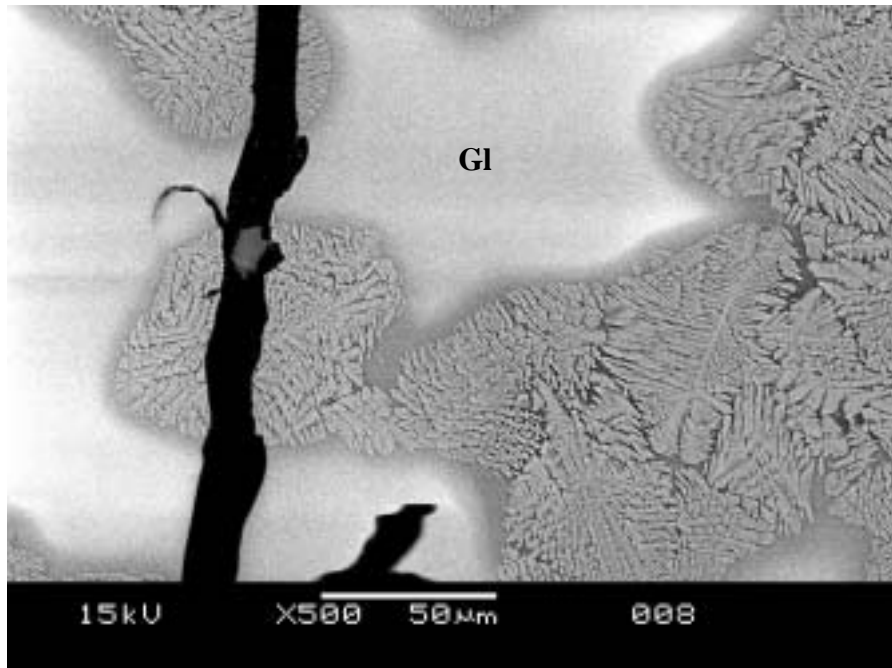


圖 3-16、1.5 京帕、1280 下之反射式電子影像圖，放大倍率為 500 倍，圖中為玻璃(GI)相。

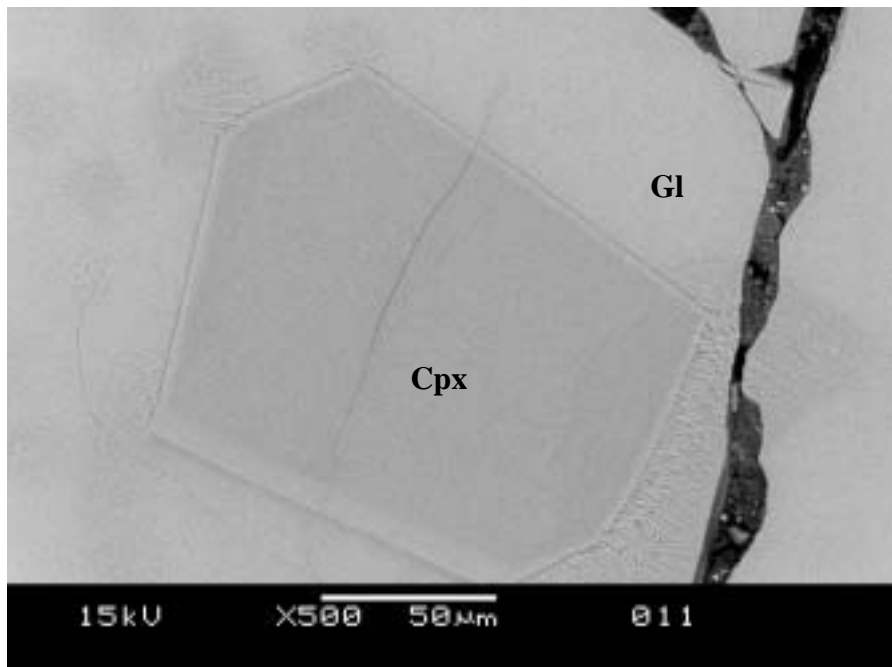


圖 3-17、1.5 京帕、1260 下之反射式電子影像圖，放大倍率為 500 倍，圖中為玻璃(GI)+斜輝石(Cpx)相。

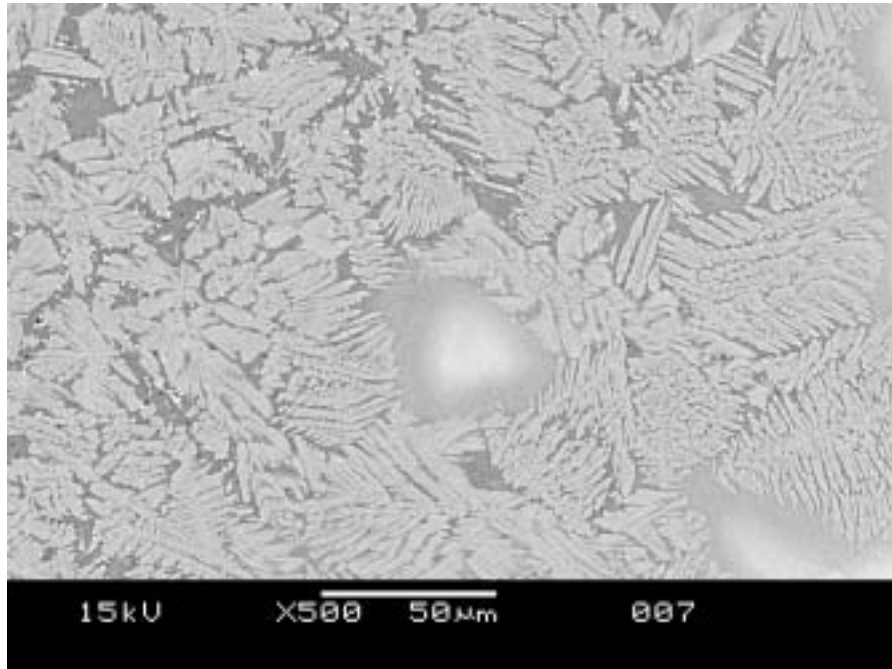


圖 3-18、1.5 京帕、1240 下之反射式電子影像圖，放大倍率為 500 倍，圖中為玻璃(GI)+斜長石(PI)相。

表 3-3、1.0 京帕下斜輝石之化學成分表

Run No.	6	15	5	18	4	19
T()	1280	1260	1240	1220	1200	1180
Average of	4	8	5	3	3	4
Wt. (%)						
SiO ₂	43.76(0.71)*	48.29(0.50)	48.48(0.75)	45.83(0.61)	46.25(0.42)	45.82(2.16)
TiO ₂	3.25(0.37)	1.98(0.34)	1.90(0.38)	1.45(0.20)	1.89(0.33)	1.81(0.62)
Al ₂ O ₃	13.32(0.47)	9.34(0.51)	10.55(0.80)	9.20(0.54)	11.46(0.45)	10.21(1.98)
tFeO	12.90(0.98)	9.79(0.72)	10.49(0.26)	8.24(0.40)	10.50(0.36)	8.61(0.80)
MgO	11.11(0.54)	14.50(0.59)	14.46(0.57)	14.16(0.12)	12.62(0.52)	13.55(1.19)
CaO	11.38(0.71)	15.78(0.36)	15.23(1.06)	15.10(0.29)	14.26(0.26)	13.42(0.42)
Na ₂ O	2.14(0.39)	1.18(0.08)	1.43(0.14)	1.13(0.09)	1.68(0.06)	1.41(0.25)
K ₂ O	0.87(0.21)	0.00	0.00	0.00	0.51(0.03)	0.21(0.25)
Total	98.72	100.86	102.52	95.12	99.17	95.04
Cations per 6 oxygens						
Si	1.661	1.768	1.747	1.770	1.730	1.766
Ti	0.093	0.054	0.052	0.042	0.053	0.052
Al	0.596	0.403	0.448	0.419	0.505	0.464
Fe	0.409	0.300	0.316	0.266	0.328	0.277
Mg	0.628	0.791	0.776	0.814	0.703	0.778
Ca	0.462	0.619	0.588	0.625	0.571	0.554
Na	0.157	0.084	0.100	0.085	0.122	0.105
K	0.042	0.000	0.000	0.000	0.024	0.010
Total	4.048	4.018	4.027	4.021	4.037	4.007
Wo	31	36	35	37	36	34
En	42	46	46	48	44	48
Fs	27	18	19	16	20	17

* 此括弧內之數字為標準差

表 3-4、1.5 京帕下斜輝石之化學成分表

Run No.	12	11
T()	1300	1260
Average of	5	5
Wt. (%)		
SiO ₂	48.86(1.43)*	47.74(0.70)
TiO ₂	0.71(0.65)	1.46(0.21)
Al ₂ O ₃	9.04(1.54)	10.39(0.89)
tFeO	8.83(0.38)	8.79(0.75)
MgO	15.82(1.44)	14.15(0.36)
CaO	15.43(0.86)	16.44(0.49)
Na ₂ O	1.33(0.14)	1.44(0.23)
Total	100.02	100.42
Cations per 6 oxygens		
Si	1.793	1.752
Ti	0.020	0.040
Al	0.391	0.449
Fe	0.271	0.270
Mg	0.864	0.774
Ca	0.606	0.646
Na	0.095	0.102
Total	4.040	4.034
Wo	35	38
En	50	46
Fs	16	16

* 此括弧內之數字為標準差

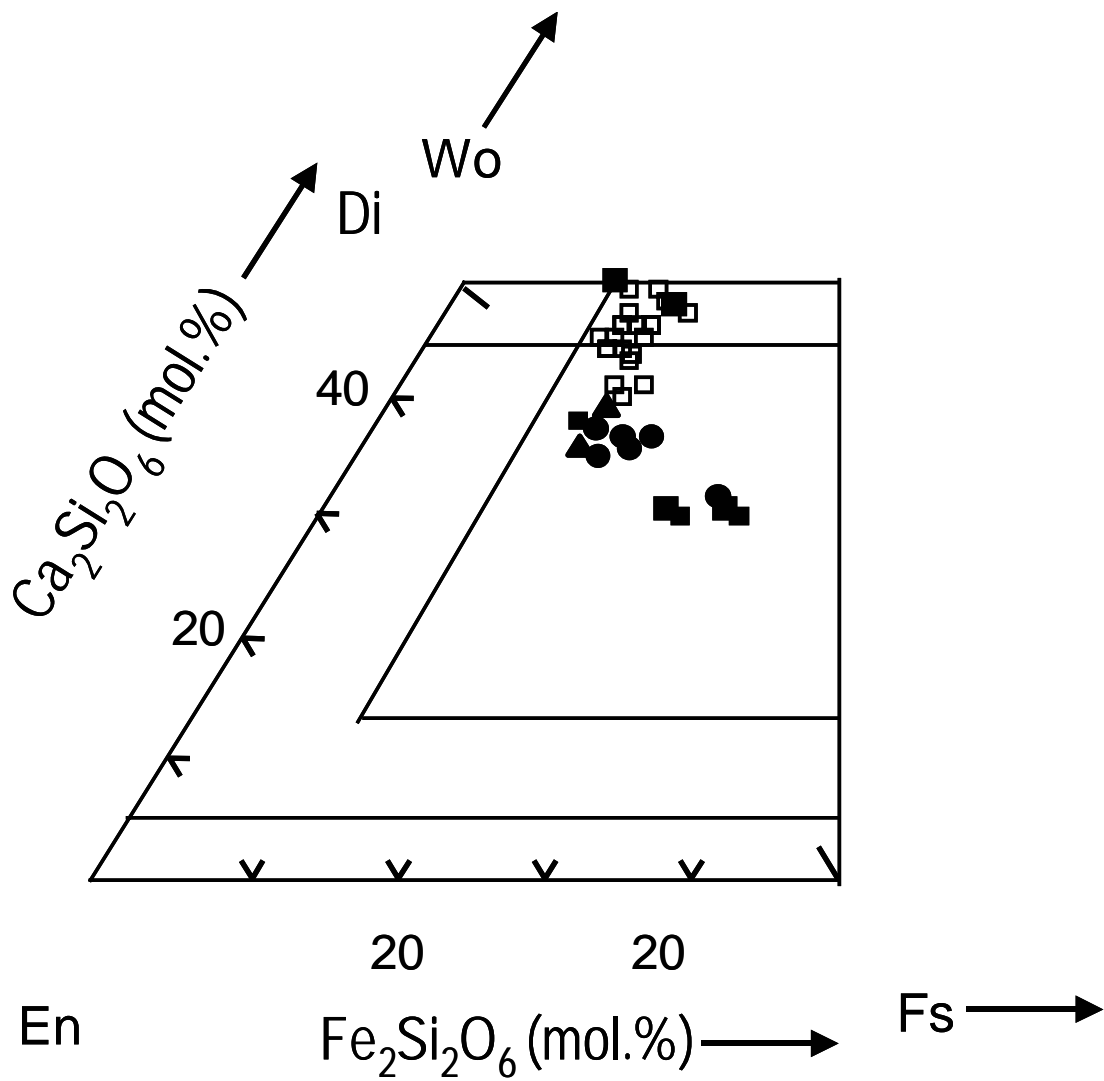


圖 3-19、一大氣壓、1.0 京帕及 1.5 京帕下所生成斜輝石與鹼性玄武岩中斜輝石之比較圖(為一大氣壓下實驗,潘建熾(2003), 為 1.0 京帕下實驗, 為 1.5 京帕下實驗, 為鹼性玄武岩中斜輝石,李寄嶼(1994))

3-2-3-2、橄欖石(Olivine)

1.0 京帕下所晶出橄欖石之化學成分列如表 3-5，再計算各溫度下其中鎂橄欖石(Fo)、鐵橄欖石(Fa)比例，其中各溫度下的橄欖石成分 Fo 值為 85 至 86 之間，皆落在李寄嶼(1994)所分析澎湖玄武岩橄欖石成分 Fo 值 70.16 至 86.91 間(圖 3-20)，表示橄欖石可以在 1.0 京帕下生成，與前人研究台灣地區玄武岩中橄欖石斑晶之成分應當為 Fo86 以下(Juan et al., 1984；陳正宏，1990)相符合。

3-2-3-3、尖晶石(Spinel)

1.0 京帕下所晶出尖晶石之化學成分列於表 3-6，其晶出的溫度範圍是 1240 1180 。

3-2-3-4、斜長石(Plagioclase)

斜長石為 1.5 京帕下最後的礦物結晶相，其化學成分列於表 3-7，經分析後 1.5 京帕下晶出的斜長石成分屬於拉長石(labradorite)。將其繪成 An-Ab-Or 三成分圖中，並與李寄嶼(1994)所分析鹼性玄武岩之斜長石比較，發現與本實驗斜長石成分略有出入(圖 3-21)，但因資料不多，無法多做比較。

3-2-3-5、鈦鐵氧化物(Ti-Fe Oxides)

鈦鐵氧化物只在於 1.0 京帕下 1180 有發現，其化學成分列如表 3-8。

表 3-5、1.0 京帕下合成之橄欖石化學成分表

Run No.	15	5	4	19
T()	1260	1240	1200	1180
Average of	1	3	2	2
Wt. (%)				
SiO ₂	40.63	43.72(0.15)*	41.28(0.63)	41.13(0.06)
Al ₂ O ₃	1.60	2.70(0.11)	2.80(0.15)	3.65(0.34)
tFeO	13.23	12.10(0.48)	12.46(.42)	11.80(0.20)
MgO	41.52	43.20(0.33)	40.74(0.05)	37.89(0.16)
CaO	1.30	1.76(0.19)	1.38(0.07)	2.37(0.13)
Na ₂ O	0.00	0.41(0.36)	0.00	0.00
Total	98.29	103.89	98.64	96.84
Cations per 4 oxygens				
Si	1.026	1.035	1.031	1.044
Al	0.048	0.075	0.082	0.109
Fe	0.279	0.240	0.260	0.250
Mg	1.562	1.524	1.516	1.433
Ca	0.035	0.045	0.037	0.064
Na	0.000	0.019	0.000	0.000
Total	2.950	2.937	2.927	2.901
Fo	85	86	85	85
Fa	15	14	15	15

* 此括弧內之數字為標準差

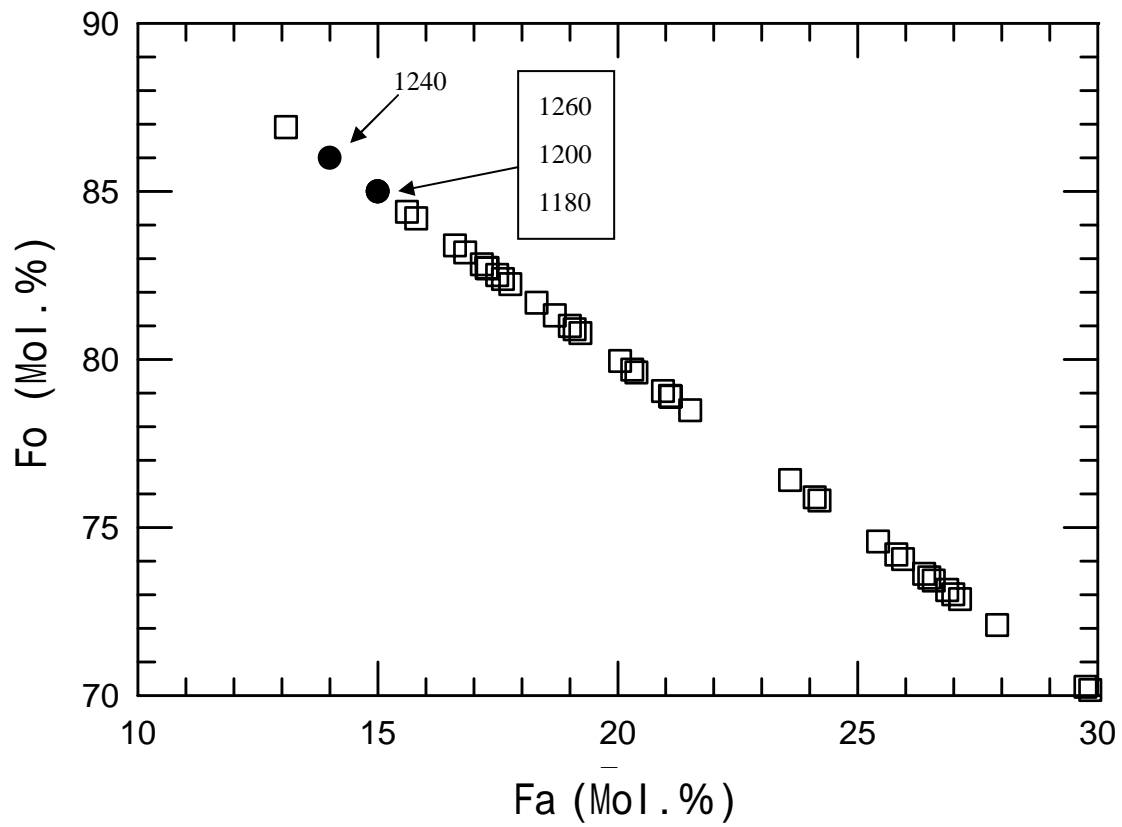


圖 3-20、1.0 京帕下實驗合成橄欖石與鹼性玄武岩中橄欖石之 Fo 值比較圖
 (為本實驗結果， 為李寄嶠, 1994，圖中實心圓旁數字為溫度，單位是)

表 3-6、1.0 京帕下尖晶石之化學成分表

Run No.	005	018	004	019
T()	1240	1220	1200	1180
Average of	4	3	3	3
Wt. (%)				
SiO ₂	11.34(0.20)*	9.55(0.22)	15.15(3.16)	13.23(0.20)
TiO ₂	2.85(0.32)	2.43(0.20)	2.98(0.86)	3.08(0.15)
Al ₂ O ₃	24.98(0.68)	30.30(0.56)	27.88(1.83)	27.87(2.28)
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.52(0.90)	1.80(2.06)
tFeO	44.80(0.94)	41.00(1.22)	36.79(6.63)	37.65(1.16)
MgO	13.07(0.18)	13.92(0.66)	12.67(0.51)	13.30(0.30)
CaO	2.22(0.14)	2.43(0.17)	2.96(0.70)	2.93(0.17)
Na ₂ O	0.55(0.36)	0.24(0.42)	1.11(0.22)	0.86(0.12)
K ₂ O	0.00	0.00	0.19(0.33)	0.00
Total	99.80	99.88	100.24	100.70
Cations per 4 oxygens				
Si	0.347	0.285	0.437	0.384
Ti	0.065	0.054	0.065	0.067
Al	0.899	1.064	0.948	0.954
Cr	0.000	0.000	0.012	0.041
Fe	1.144	1.022	0.887	0.914
Mg	0.595	0.618	0.545	0.575
Ca	0.072	0.078	0.091	0.091
Na	0.032	0.014	0.062	0.048
K	0.000	0.000	0.007	0.000
Total	3.155	3.135	3.053	3.075

* 此括弧內之數字為標準差

表 3-7、1.5 京帕下斜長石之化學成分表

Run No.	007
T()	1240
Average of 2	
Wt. (%)	
SiO ₂	47.37(1.78)*
TiO ₂	3.15(0.22)
Al ₂ O ₃	14.92(0.70)
tFeO	9.86(1.05)
MgO	6.29(0.72)
CaO	8.94(0.33)
Na ₂ O	3.39(0.10)
K ₂ O	1.40(0.13)
Total	95.28
Cations per 8 oxygens	
Si	2.411
Ti	0.120
Al	0.895
Fe	0.420
Mg	0.477
Ca	0.487
Na	0.334
K	0.091
Total	5.234
An	53
Ab	37
Or	10

* 此括弧內之數字為標準差

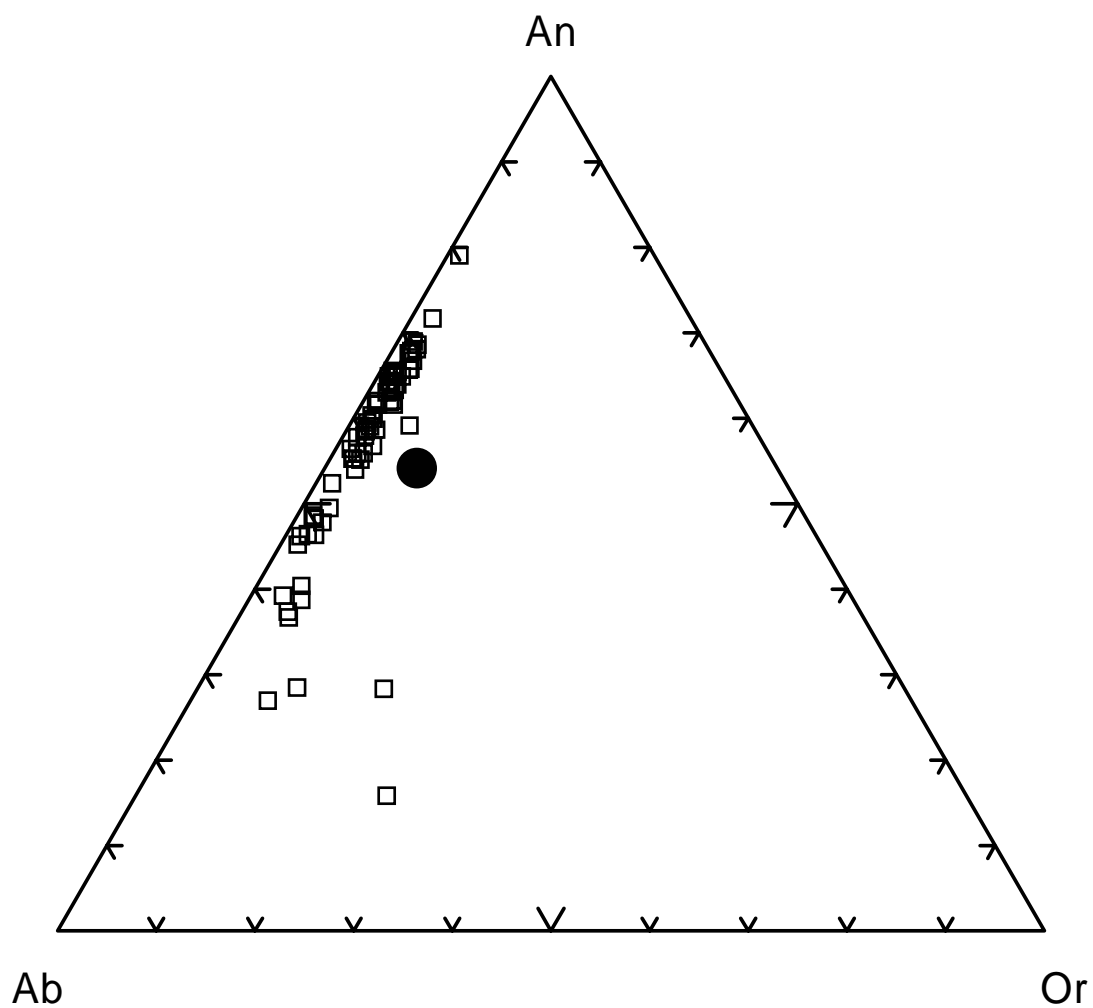


圖 3-21、1.5 京帕下所生成斜長石與鹼性玄武岩中斜長石之比較圖(為 1.5 京帕下晶出之斜長石 , 為鹼性玄武岩中斜長石,李寄嶠, 1994。)

表 3-8、1.0 京帕下鈦鐵氧化物之化學成分表

Run No.	019
T()	1180
Average of	1
<hr/>	
Wt. (%)	
SiO ₂	10.66
TiO ₂	23.21
Al ₂ O ₃	5.80
tFeO	48.96
MgO	7.25
CaO	2.81
Total	98.69
Cations per 4 oxygens	
Si	0.352
Ti	0.576
Al	0.226
Fe	1.351
Mg	0.356
Ca	0.099
Total	2.960

3-3、澎湖北寮地區鹼性玄武岩之岩漿演化

3-3-1、液相成分隨溫度之變化趨勢

1.0 京帕及 1.5 京帕壓力下之玻璃相(殘餘岩漿)成分分別列於表 3-9 及 3-10, 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 3-9、3-10 下半部), 隨著岩漿溫度降低礦物晶出, 殘餘岩漿成分也會隨著溫度降低而變化。將各壓力下殘餘岩漿成分對實驗溫度作圖(圖 3-22、圖 3-23), 並且觀察其變化。可以發現到在 1.0 京帕下隨著溫度降低, 殘餘岩漿成分中二氧化矽(SiO_2)、氧化鈉(Na_2O)、氧化鉀(K_2O)、氧化鋁(Al_2O_3)有增加的趨勢, 而氧化鐵(FeO)、氧化鎂(MgO)、氧化鈣(CaO)則是有減少的趨勢。其中氧化鐵及氧化鎂含量在橄欖石晶出之後明顯下降, 而氧化鈦(TiO_2)含量則是在鈦鐵氧化物晶出之後下降(圖 3-22)。

而在 1.5 京帕下的實驗隨溫度降低, 殘餘岩漿中的氧化鈦(TiO_2)、氧化鈉(Na_2O)有增加的趨勢, 而氧化鎂(MgO)、氧化鈣(CaO)有減少的趨勢, 至於二氧化矽(SiO_2)、氧化鋁(Al_2O_3)、氧化鐵(FeO)、氧化鉀(K_2O)含量則無明顯變化趨勢。其中氧化鐵及氧化鎂含量也是在橄欖石晶出之後明顯下降, 與 1.0 京帕下所觀察到的相同(圖 3-23)。

3-3-2、液相成分隨二氧化矽變化圖(哈克氏圖)

將 1.0 京帕及 1.5 京帕壓力下之殘餘岩漿的個別氧化物成分對二氧化矽作圖, 並與前人研究做比較如圖 3-24、3-25。可以發現, 在 1.0 京帕及 1.5 京帕下的所有殘餘岩漿成分, 皆落在鹼性玄武岩的範圍內。這表示鹼性玄武岩質岩漿在結晶分化的過程中, 並沒有矽質玄武岩質岩漿的產生。

表 3-9、1.0 京帕下之玻璃化學成分表

Run No.	13	6	15	5	18
T ()	1300	1280	1260	1240	1220
Average of	4	5	6	7	4
Wt. (%)					
SiO ₂	45.63(0.37)*	45.68(0.78)	45.54(0.67)	46.55(0.42)	45.28(0.54)
TiO ₂	3.87(0.36)	3.44(0.29)	3.57(0.36)	4.37(0.34)	3.53(0.15)
Al ₂ O ₃	14.24(0.30)	14.25(0.19)	14.32(0.20)	15.03(0.30)	14.42(0.35)
tFeO	12.39(0.15)	11.40(0.54)	13.23(0.67)	11.60(0.79)	11.83(0.25)
MgO	9.80(0.19)	9.80(0.26)	9.66(0.11)	8.13(0.23)	9.02(0.18)
CaO	9.96(0.30)	9.90(0.33)	9.58(0.19)	8.54(0.32)	9.59(0.17)
Na ₂ O	2.59(0.10)	2.69(0.12)	2.77(0.20)	3.27(0.16)	2.88(0.13)
K ₂ O	1.36(0.03)	1.13(0.16)	1.20(0.13)	1.65(0.15)	1.26(0.10)
P ₂ O ₅	0.00	0.50(1.12)	0.33(0.80)	0.00	0.00
Total	99.84	98.80	100.19	99.14	97.79
C. I. P. W. Norm ^a					
Or	8.04	6.68	7.09	9.75	7.45
Ab	12.79	17.40	15.27	18.74	14.55
An	23.21	23.47	23.10	21.46	22.70
Ne	4.94	2.90	4.43	4.84	5.32
Di	21.40	18.24	18.27	17.09	20.35
Hy	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ol	22.11	22.41	24.51	18.96	20.74
Il	7.35	6.53	6.78	8.30	6.70
Ap	0.00	1.16	0.76	0.00	0.00
Mg# ^b	59	60	57	56	58

* 此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

表 3-9(續)、1.0 京帕下之玻璃化學成分表

Run No.	4	19
T ()	1200	1180
Average of	5	5
Wt. (%)		
SiO ₂	46.85(0.74)*	45.63(0.78)
TiO ₂	3.92(0.17)	3.60(0.44)
Al ₂ O ₃	16.22(0.34)	14.65(0.25)
tFeO	10.45(0.29)	12.37(0.45)
MgO	6.90(0.35)	9.04(0.35)
CaO	7.53(0.40)	9.05(0.25)
Na ₂ O	3.69(0.18)	3.04(0.16)
K ₂ O	1.86(0.16)	1.35(0.13)
P ₂ O ₅	2.23(2.07)	0.00
Total	99.66	98.73
C. I. P. W. Norm ^a		
Or	10.99	7.98
Ab	31.22	15.40
An	22.20	22.34
Ne	0.00	5.59
Di	0.48	18.48
Hy	1.68	0.00
Ol	20.46	22.10
Il	7.44	6.84
Ap	5.17	0.00
Mg# ^b	54	57

* 此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

表 3-10、1.5 京帕下之玻璃化學成分表

Run No.	17	14	9	12	8
T ()	1360	1340	1320	1300	1280
Average of	5	4	5	3	5
Wt. (%)					
SiO ₂	46.31(0.61)*	45.95(0.35)	44.55(0.67)	47.99(0.42)	46.28(0.70)
TiO ₂	3.16(0.26)	3.48(0.19)	3.27(0.39)	3.49(0.24)	3.51(0.18)
Al ₂ O ₃	14.36(0.26)	14.38(0.35)	13.79(0.42)	14.64(0.27)	14.25(0.12)
tFeO	12.15(0.68)	12.72(0.30)	10.72(0.87)	12.10(0.29)	11.81(0.75)
MgO	10.08(0.25)	9.75(0.13)	9.55(0.34)	9.80(0.21)	9.97(0.36)
CaO	10.27(0.36)	10.27(0.32)	9.92(0.38)	9.91(0.12)	10.11(0.31)
Na ₂ O	2.77(0.12)	2.58(0.13)	2.78(0.24)	2.73(0.19)	2.90(0.22)
K ₂ O	1.23(0.19)	1.24(0.15)	1.01(0.12)	1.18(0.13)	1.32(0.16)
P ₂ O ₅	0.00	0.00	0.77(1.54)	0.00	0.00
Total	100.32	100.36	96.21	101.86	100.14
C. I. P. W. Norm ^a					
Or	7.27	7.33	5.97	6.97	7.80
Ab	12.71	12.72	17.93	18.74	12.95
An	23.12	23.99	22.17	24.21	21.97
Ne	5.81	4.94	3.03	2.36	6.28
Di	22.74	22.07	17.92	20.39	22.99
Ol	22.68	22.71	21.35	22.54	21.50
Il	6.00	6.61	6.21	6.63	6.67
Ap	0.00	0.00	1.78	0.00	0.00
Mg# ^b	60	58	61	59	60

* 此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

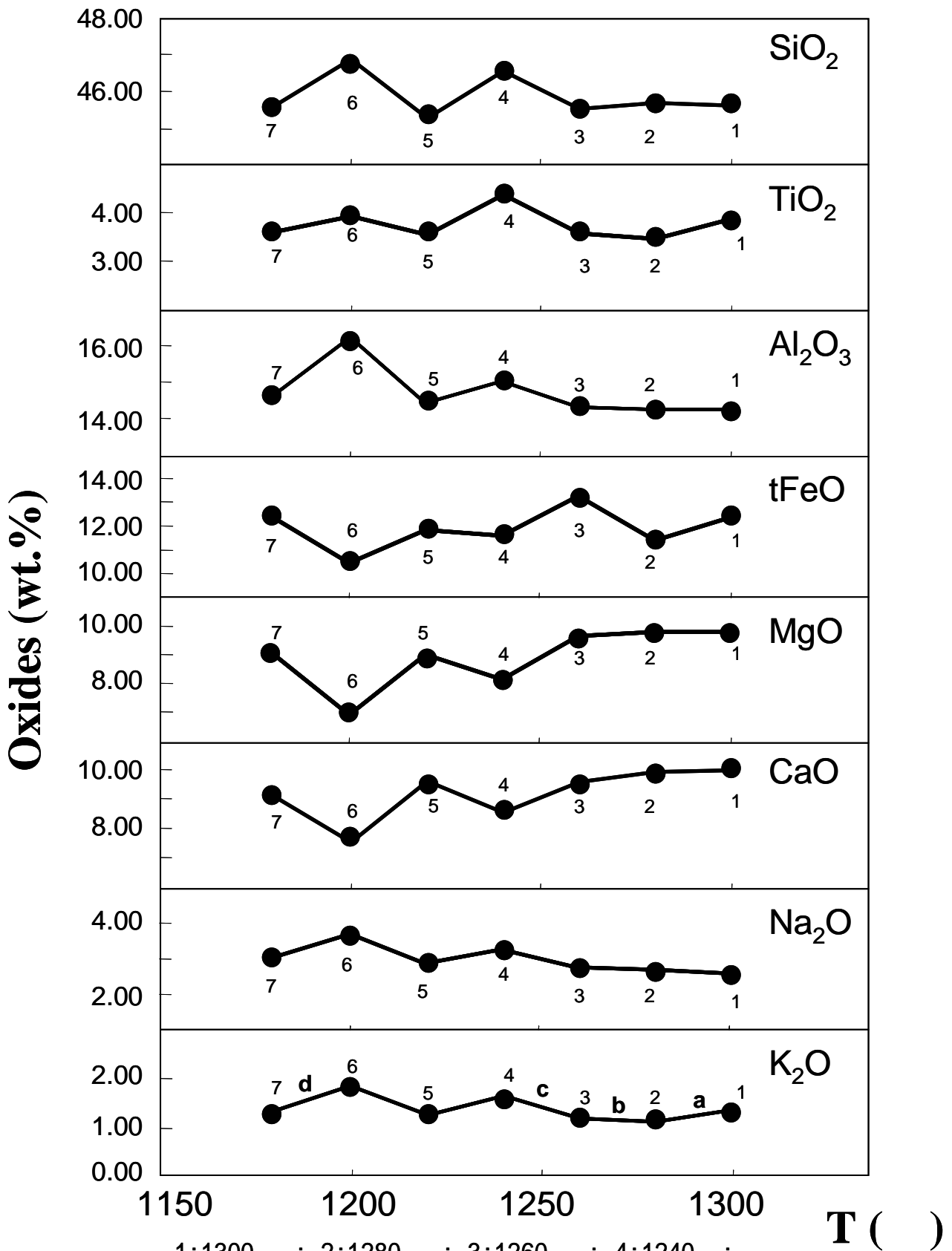
b : Mg# = Mg/(Mg+Fe)*100

表 3-10(續)、1.5 京帕下之玻璃化學成分表

Run No.	11	7
T ()	1260	1240
Average of	1	1
Wt. (%)		
SiO ₂	44.28	45.84
TiO ₂	4.00	3.83
Al ₂ O ₃	14.50	14.47
tFeO	11.71	12.50
MgO	9.48	8.84
CaO	9.50	9.17
Na ₂ O	2.81	2.71
K ₂ O	1.22	1.08
P ₂ O ₅	0.00	0.00
Total	97.50	98.43
C. I. P. W. Norm ^a		
Or	7.21	6.38
Ab	12.91	19.06
An	23.35	24.13
Ne	5.89	2.10
Di	19.39	17.51
Ol	21.16	21.98
Il	7.60	7.27
Ap	0.00	0.00
Mg# ^b	59	56

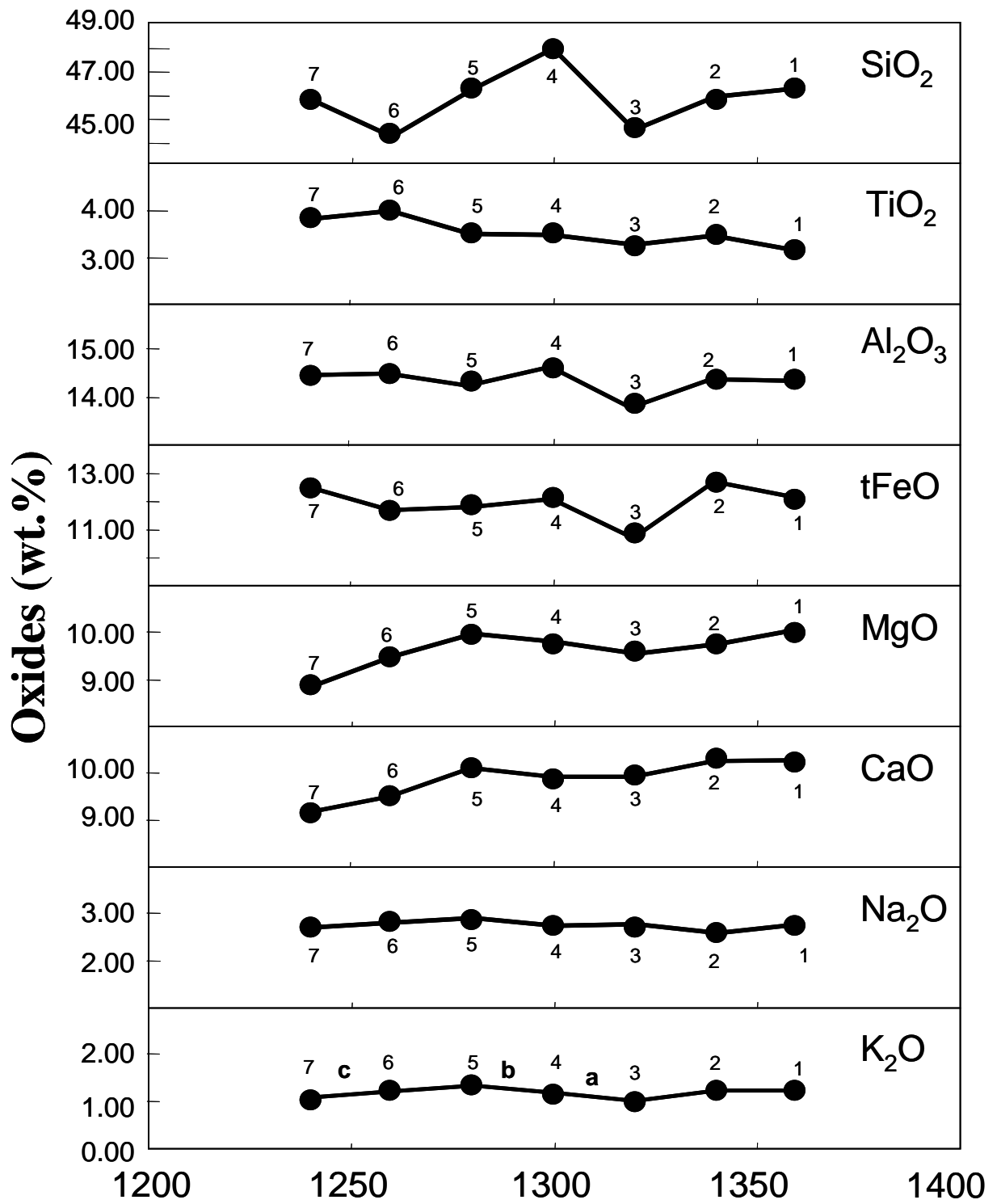
a : C. I. P. W. Norm : 標準礦物組成之計算

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



1:1300 ; 2:1280 ; 3:1260 ; 4:1240 ;
 5:1220 ; 6:1200 ; 7:1180
 a:斜輝石晶出 ; b:橄欖石晶出 ;
 c:尖晶石晶出 ; d:鈦鐵氧化物晶出

圖 3-22、1.0 京帕下殘餘岩漿成分隨溫度變化之趨勢圖



1:1360 ; 2:1340 ; 3:1320 ; 4:1300 ; T ()
 5:1280 ; 6:1260 ; 7:1240
 a:斜輝石晶出 ; b:石榴子石晶出 ;
 c:斜輝石消失且斜長石晶出

圖 3-23、1.5 京帕下殘餘岩漿成分隨溫度變化之趨勢圖

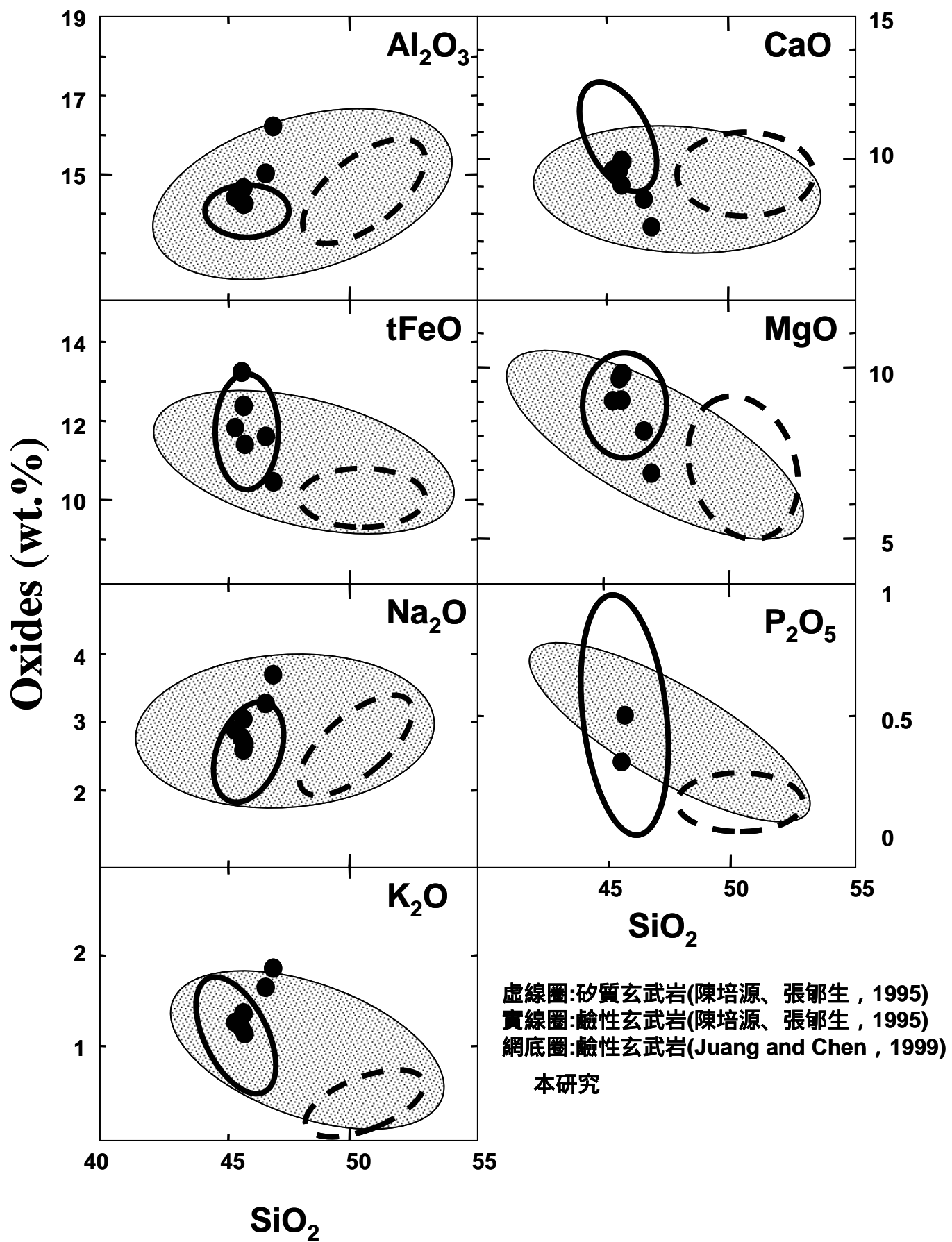


圖 3-24、1.0 京帕下殘餘岩漿成分隨二氧化矽變化圖

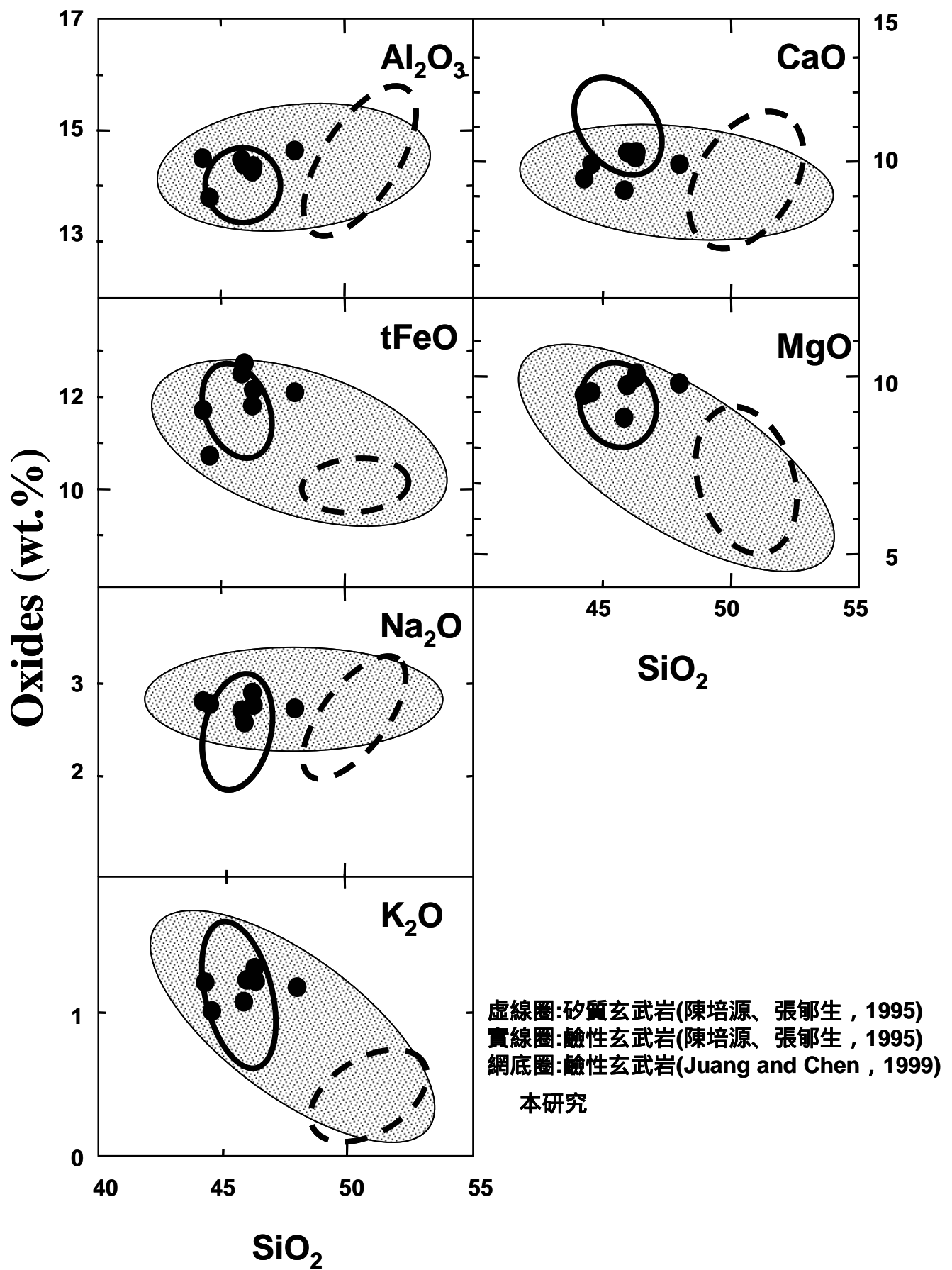


圖 3-25、1.5 京帕下殘餘岩漿成分隨二氧化矽變化圖

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

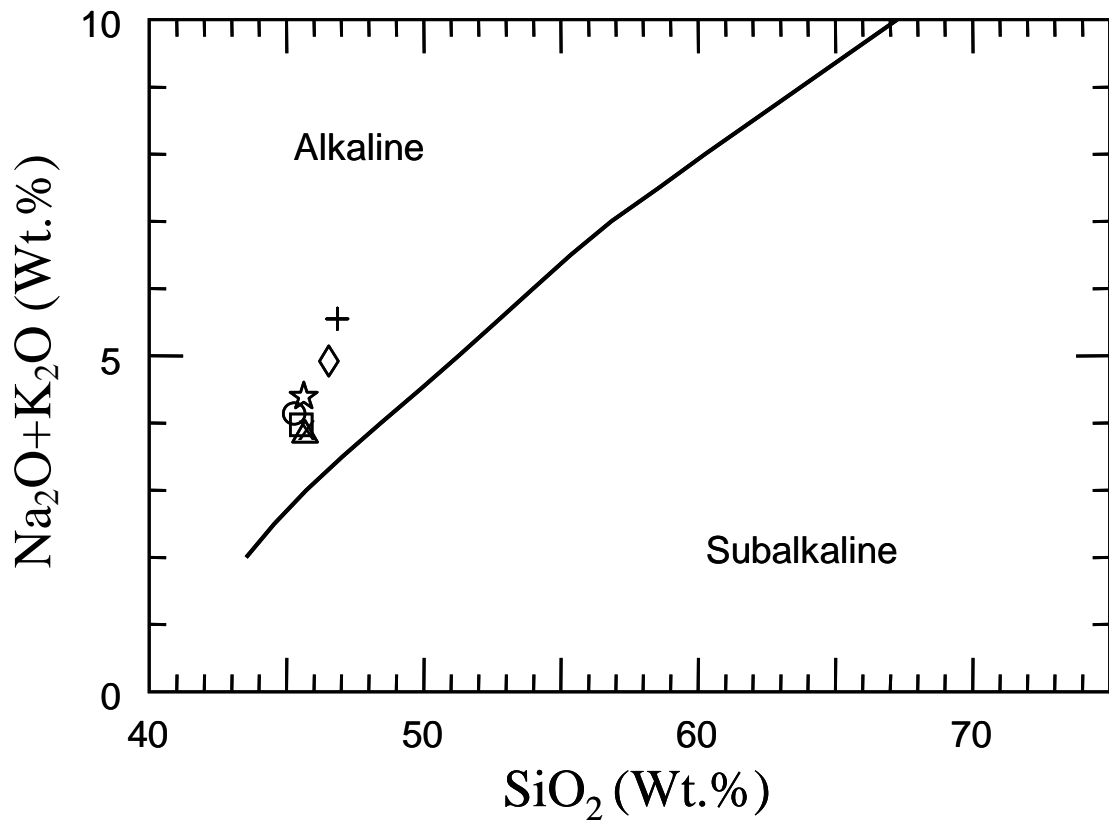
將 1.0 京帕及 1.5 京帕下之殘餘岩漿成份點入 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 圖 (圖 3-26、3-27)，顯示在 1.0 京帕下，殘餘岩漿的成分會隨著溫度降低，演化趨勢朝著氧化鈉加氧化鉀 ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) 含量及二氧化矽 (SiO_2) 含量皆增加的方向進行 (圖 3-26)。而無論是在 1.0 京帕下或 1.5 京帕下，殘餘岩漿成份均落入鹼性岩 (Alkaline) 範圍。

3-3-4、鹼金族氧化物-全量鐵-氧化鎂圖 (AFM 圖)

將 1.0 京帕及 1.5 京帕下的殘餘岩漿成分點入 AFM 圖 (圖 3-28、3-29)，可以用來解釋岩漿演化趨勢。在 1.0 京帕下，殘餘岩漿成分分布於矽質玄武岩系 (Tholeiitic) 區域，隨實驗溫度下降，殘餘岩漿成分落入鈣鹼岩系 (Calc alkalineseries) 區域，而在 1.5 京帕下之殘餘岩漿成分則是皆落在矽質玄武岩區域。

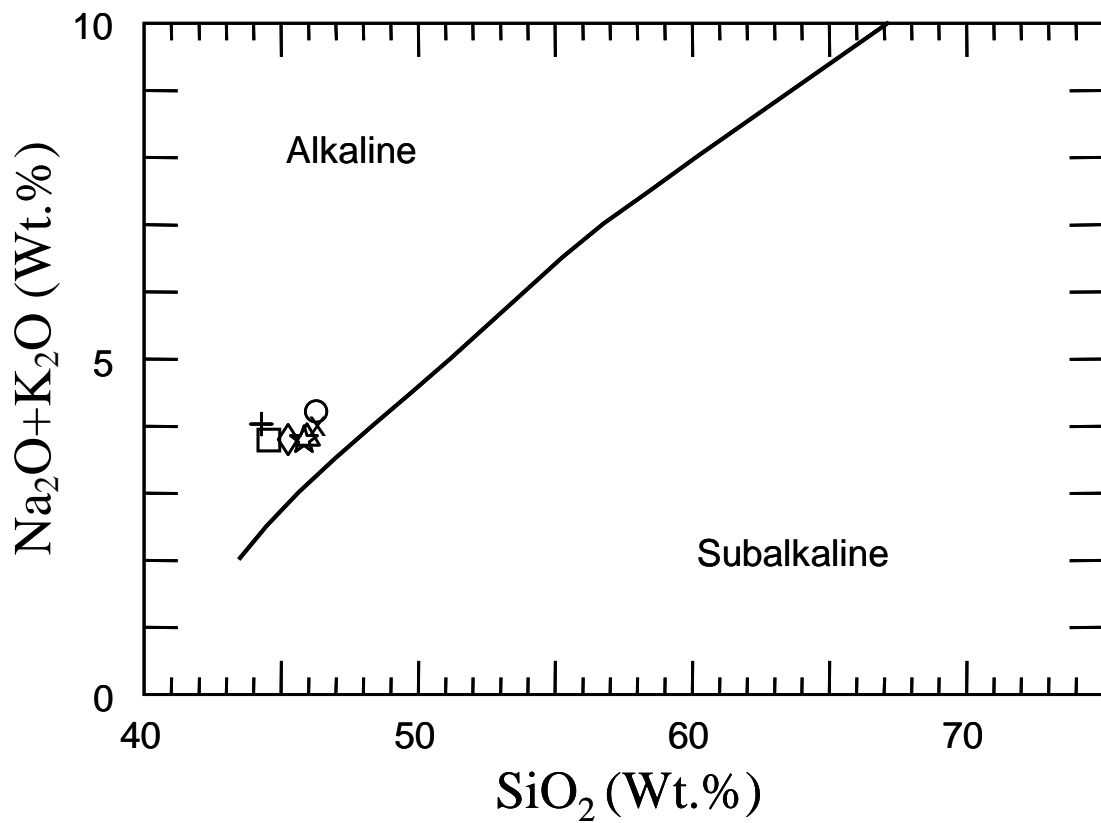
3-3-5、透輝石 (Di)-橄欖石 (Ol)-霞石 (Neph) 圖

將 1.0 京帕及 1.5 京帕的殘餘岩漿成分分別點入由斜長石投影至透輝石-橄欖石-霞石圖 (圖 3-30、3-31) (Sack et al., 1987) 中，發現本實驗初始成分均落入透輝石初晶域，與本實驗結果先晶出斜輝石相符合。



圖示：X 1300 ; 1280 ; 1260 ;
 1240 ; 1220 ; + 1200 ; 1180

圖 3-26、1.0 京帕下殘餘岩漿成分之 Na₂O+K₂O-SiO₂ 圖



圖示：X 1360 ; 1340 ; 1320 ;
 1300 ; 1280 ; + 1260 ; 1240

圖 3-27、1.5 京帕下殘餘岩漿成分之 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 圖

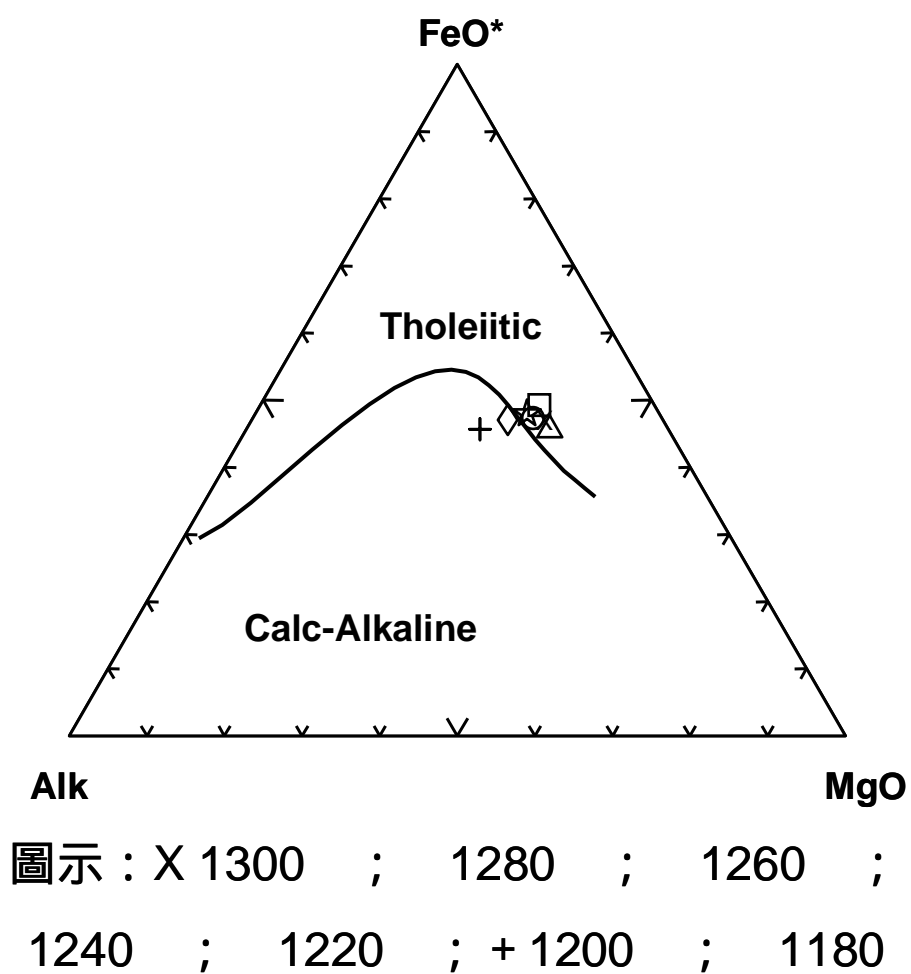


圖 3-28、1.0 京帕下殘餘岩漿成分之 AFM 圖

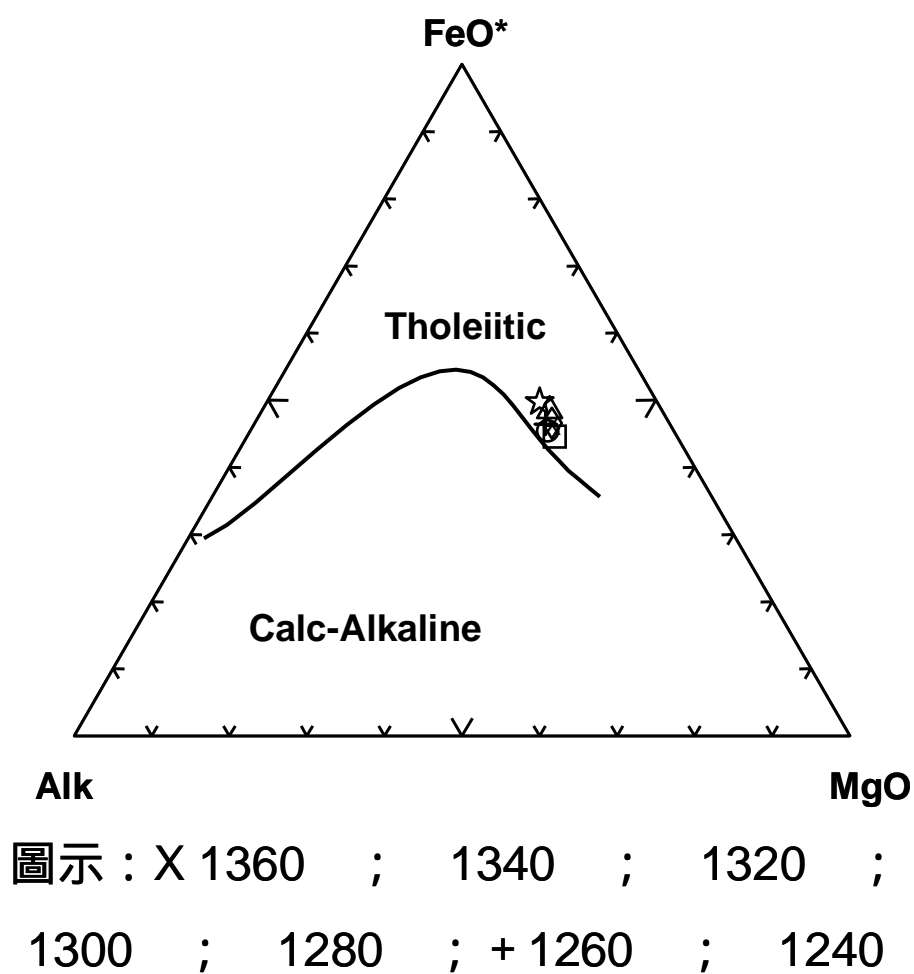
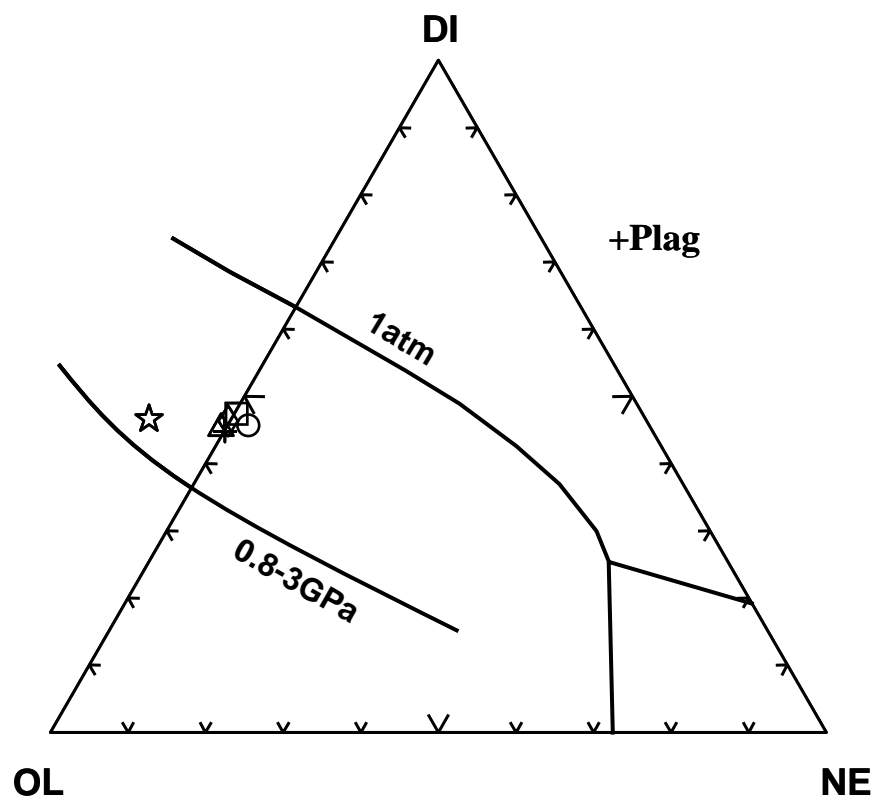


圖 3-29、1.5 京帕下殘餘岩漿成分之 AFM 圖



圖示：X 1360 ; 1340 ; 1320 ;
 1300 ; 1280 ; + 1260 ; 1240

圖 3-31、1.5 京帕下殘餘岩漿成分之 Di-Ol-Neph 圖 (Sack et al., 1987)