

韓国京畿道に分布する花崗岩と片麻岩の 鉱物粒径の差異

Difference in grain size of minerals of granite and gneiss in Korea

若月 強^{*}・滝沢 茂^{**}・田中幸哉^{***}・松倉公憲^{**}

Tsuyoshi WAKATSUKI, Shigeru TAKIZAWA, Yukiya TANAKA and
Yukinori MATSUKURA

I はじめに

韓半島ではジュラ紀および白亜紀の花崗岩類と先カンブリア紀の片麻岩類が地質の約70%を占めている(金, 1990)。韓半島の西部に位置する京畿道付近においても、ジュラ紀花崗岩と先カンブリア紀片麻岩が広く分布している(韓国国立地質鉱物研究所, 1999)。花崗岩分布域は侵食盆地と残丘状の山地からなる地形を形成していて、基盤岩が露出している場所が数多くあり、トアやドームを形成している。それに対し、片麻岩分布域はそのほとんどが山地となっていて侵食盆地は形成されていない。また、山地全体が土層に覆われており基盤岩の露出は見られない。両岩石の分布域は隣接しているので、地形形成時間および気候条件などの岩石の風化環境に大きな差異はないと思われる。また、構造線の発達も乏しいことから、断層による影響も少ないものと思われる。従って、京畿道付近における地形の差異は、岩石の物性の影響を強く受けたロックコントロール地形と考えることができるであろう。そこで、両地域における地形形成プロセスの差異を解明するため

の第一歩として、本報では京畿道で採取した花崗岩と片麻岩に対して、(1) X線粉末回折分析、(2) 蛍光X線分析、(3) 岩石薄片の偏光顕微鏡観察などの解析で得られた結果について報告する。測定結果から両岩石は構成鉱物の種類が同じであり、かつ化学組成に大きな差異はないが、構成鉱物の粒度組成が大きく異なっていることが明らかになった。

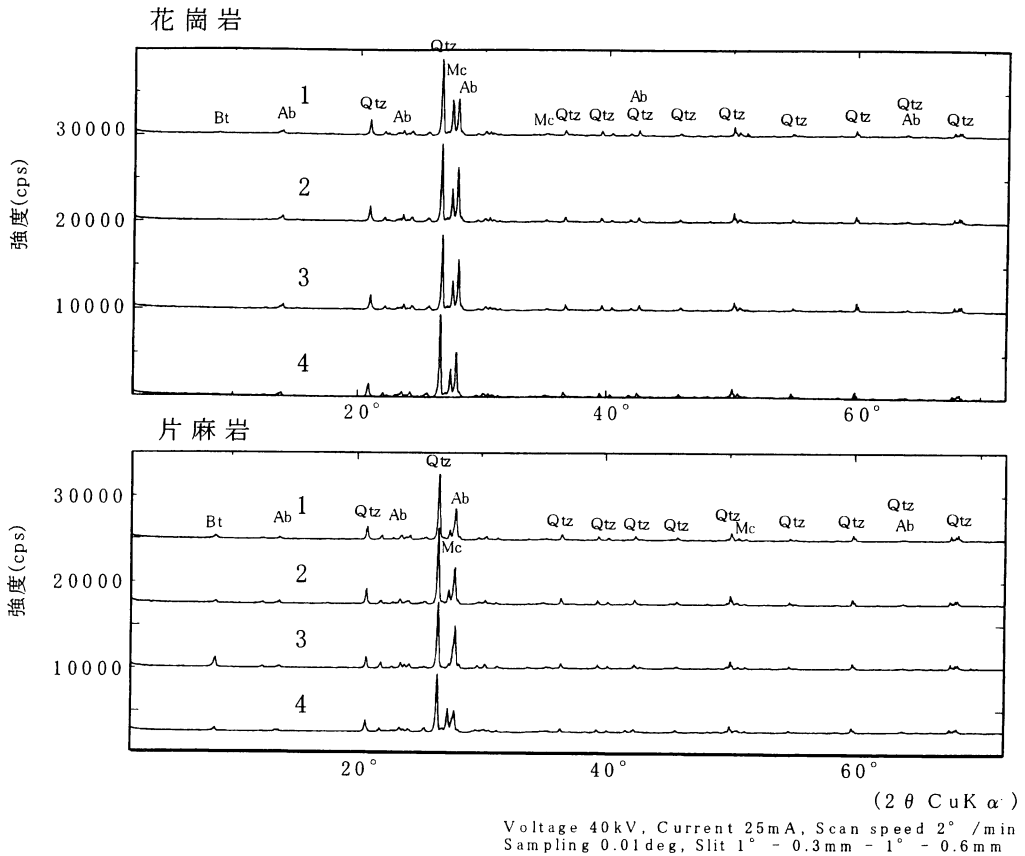
II 構成鉱物と全岩化学組成

国際地学連合の規約では、花崗岩などの深成岩類は、岩石薄片を顕微鏡観察して得られた鉱物量比(モード組成)の差異に基づき分類されて命名される(都城, 1975)。鉱物量比は、ポイントカウンターによる計測から得られた鉱物容量比で表わされることが多い。具体的にいうと、花崗岩は有色鉱物の容量比が90%未満の岩石で、石英とアルカリ長石(曹長石を含む)と斜長石(曹長石を除く)の鉱物容量比の合計を100%としたとき、石英20~60%、アルカリ長石35~90%、斜長石10~65%を含む岩石である(山崎, 1990)。これに対し、片麻岩などの変成岩類

* 筑波大学大学院地球科学研究科

** 筑波大学地球科学系

*** 慶熙大学校文理科大学地理学科



第1図 X線回折図

Qtz:石英 Mc:微斜長石 Ab:曹長石 Bt:黒雲母

は、変成鉱物で構成される組織の特徴だけを表す岩型名によって分類される(都城, 1975)。片麻岩は、比較的高温でできた縞状組織を呈する変成岩(都城, 1975), 縞状構造をもち片理の弱い変成岩(橋本, 1987)などと一般的には定義されている。元来、平行組織を呈する花崗岩も片麻岩としたが、現在では構成鉱物の量比に関係なく片麻状組織をもつ変成岩のみに使われている(都城, 1975)。

以上のことから、花崗岩の場合はその名前から構成鉱物の種類とその構成比をある程度の範囲で推定することが可能である。また世界中の花崗岩の平均的な化学組成も求められている(LeMaitre, 1976)。しかし、片麻岩の場合は岩石名からは構成鉱物や化学組成を推定することはできない。

今回の測定に用いた花崗岩と片麻岩のそれぞれで4

個ずつの試料は、河床や斜面上で採取した礫である。従って、すべての試料は多少風化されているが、試料間の風化程度に著しい違いはない。試料は花崗岩と片麻岩のそれぞれについてNo. 1, 2, 3, 4と名付けた。

構成鉱物の同定はX線粉末回折分析法により行った。X線粉末回折分析はバルク試料の不定方位法で行い、測定には農林水産省国際農林水産業研究センターの理学電気工業株式会社製RAD-Xシステムを用いた。ここで、アルミ試料板に詰める粉末試料の重さを2.45gに統一し、回折のピーク強度から鉱物の定量的比較ができるようにした。X線回折図(第1図)の結果から、花崗岩と片麻岩はともに約26.7°, 約27.5°, 約28.0°(CuKα, 2θ)の強度ピークが顕著であり、かつ非常に類似した回折図形であった。それぞれの

第1表 全岩化学組成 (wt. %)

	花崗岩					片麻岩					花崗岩
	1	2	3	4	平均	1	2	3	4	平均	LeMaitre:1976
SiO ₂	75.55	77.59	78.81	78.00	77.49	73.34	72.47	71.59	73.91	72.83	71.30
TiO ₂	0.05	0.07	0.06	0.07	0.06	0.22	0.13	0.32	0.13	0.20	0.31
Al ₂ O ₃	14.82	13.88	14.25	13.79	14.19	15.76	16.03	15.46	15.60	15.71	14.32
FeO+Fe ₂ O ₃	0.76	0.78	0.61	0.75	0.73	2.45	1.81	2.95	0.74	1.99	2.85
MnO	0.00	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.05
MgO	0.05	0.05	0.06	0.07	0.06	0.33	0.28	0.66	0.22	0.37	0.71
CaO	0.17	0.27	0.33	0.31	0.27	1.43	0.94	2.71	1.66	1.69	1.84
Na ₂ O	4.01	4.26	4.43	4.21	4.23	3.99	4.04	4.41	3.62	4.02	3.68
K ₂ O	5.00	4.93	5.14	5.17	5.06	2.93	3.54	1.86	5.61	3.49	4.07
P ₂ O ₅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.06	0.06	0.05	0.12
total	100.41	101.85	103.72	102.41	102.10	100.51	99.30	100.04	101.55	100.35	99.25

強度ピークは、石英の(101)面、微斜長石の(040)面、曹長石の(002)面であるので、花崗岩と片麻岩を構成する主要な鉱物は石英、微斜長石、曹長石の3種であり、かつ回折図形の類似性から鉱物の構成比もほぼ同じと考えることができる。その他の鉱物として、花崗岩と片麻岩ともに8°付近に強度ピークがあることから、黒雲母が少量含まれていることがわかる。ただし、花崗岩の4試料は試料どうしのピーク強度の個体差はほとんどみられないが、片麻岩の4試料には微斜長石と曹長石にやや個体差があり、鉱物の構成比にややばらつきがあることがわかる。

全岩化学組成の測定は蛍光X線分析法により行った。測定には農林水産省国際農林水産業研究センターの理学電気工業株式会社製蛍光X線分析システム3270を用いた。測定した化学種はSiO₂, Al₂O₃, K₂O, Na₂O, CaO, MgO, FeO+Fe₂O₃, MnO, TiO, P₂O₅の10種である。試料調整の際には粉末試料を加圧成型して行うプリケット法を用い、定量分析はFP法および補正定量法により行った。測定結果とLeMaitre(1976)が計算した世界中の花崗岩(197個)の平均化学組成を第1表に示す。両岩石のすべてのサンプルで、SiO₂とAl₂O₃の2種で全化学組成の87~93%となり、さらにK₂O, Na₂Oを含めた4種で全化学組成の94~100%を占める。X線粉末回折分析の結果と同様に、花崗岩の試料間には個体差がほとんどないが、片麻岩ではCaO, MgO, FeO+Fe₂O₃, K₂Oにやや個体差がある。花崗岩と片麻岩を比較すると、SiO₂が花崗岩では約77%であり、片

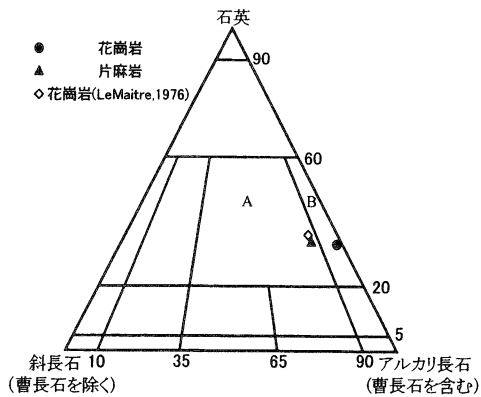
麻岩の約73%やLeMaitre(1976)の平均値の約71%よりもやや多い。また、花崗岩の方が片麻岩より、CaO, MgO, FeO+Fe₂O₃がやや少なく、K₂Oがやや多い。X線粉末回折分析で実際に同定された構成鉱物から、多少ではあるが花崗岩の方が石英と微斜長石が多く、曹長石と黒雲母が少ないと考えられる。

全岩化学組成からノルム計算(都城, 1975)をおこなって、ノルム組成を求めた(第2表)。ここで用いた化学組成は、花崗岩と片麻岩はそれぞれの試料の平均値である。ノルム計算の長石は、正長石成分(K₂O · Al₂O₃ · 6SiO₂)、曹長石成分(Na₂O · Al₂O₃ · 6SiO₂)、灰長石成分(CaO · Al₂O₃ · 2SiO₂)の3種類に単純化されたものである。結果より、両岩石で石英成分(SiO₂)と曹長石成分は、それぞれ約33%、約35%であり、ほぼ同じである。しかし、花崗岩の方が正長石成分がやや多くて、灰長石成分がやや少ない。

次に、石英成分を石英、正長石成分と曹長石成分の和をアルカリ長石、灰長石成分を斜長石として、国際地学連合の花崗岩質深成岩分類図(都城, 1975)にプロットしたものを示す(第2図)。花崗岩はアルカリ長石花崗岩領域に、片麻岩とLeMaitre(1976)の平均的な花崗岩はアルカリ長石花崗岩領域と花崗岩領域の境界にプロットされる。花崗岩の方が片麻岩よりアルカリ長石が多いが、両岩石は鉱物の構成比の非常に類似した岩石と考えてもよいであろう。ただし、この図は本来の分類基準であるモード組成をプロットしたのではなく、ノル

第2表 対象とする花崗岩及び片麻岩のノルム組成 (wt. %)

	石英	正長石	曹長石	灰長石	total
花崗岩	32.9	29.9	35.8	1.3	99.9
(標準偏差)	(0.3)	(0.7)	(1.5)	(0.4)	(2.2)
片麻岩	32.1	20.6	34.0	8.1	94.7
(標準偏差)	(3.3)	(9.3)	(2.7)	(3.7)	(3.1)
花崗岩 (LeMaitre, 1976)	29.6	24.0	31.1	8.4	99.2



第2図 花崗岩質深成岩分類図

A: 花崗岩, B: アルカリ長石花崗岩

ム組成から作成されたものである。この図では LeMaitre(1976)の平均的な花崗岩も、本来位置すべき花崗岩領域の中心付近から離れた、アルカリ長石花崗岩領域と花崗岩領域の境界付近にプロットされている。このことから、ノルム組成から作成した花崗岩質深成岩分類図はモード組成から作成された図よりも、アルカリ長石が多くなる傾向があると考えられる。したがって、モード組成に基づいて花崗岩質深成岩分類図にプロットしたならば、花崗岩と片麻岩のいずれもアルカリ長石が少なくなって、より花崗岩領域の中心付近に近づくはずである。

以上より、京畿道の花崗岩と片麻岩は、構成鉱物の種類が同じであり、かつ構成比もほぼ一致することがわかった。

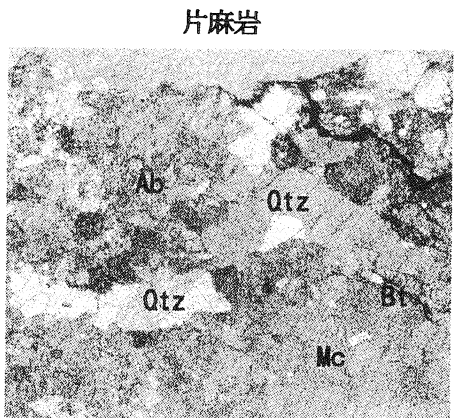
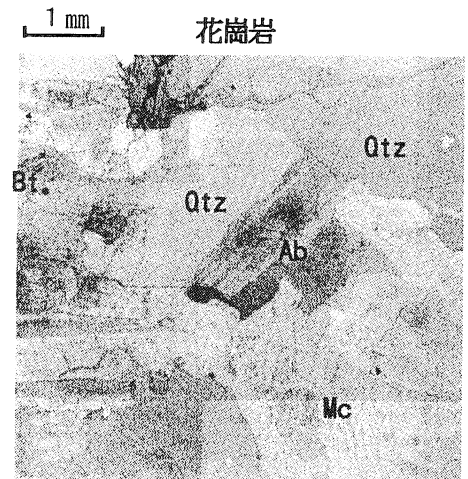
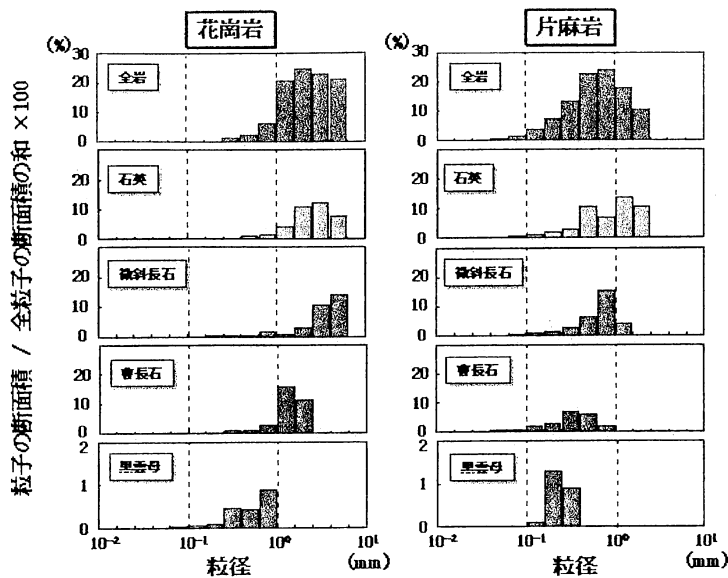


写真1 偏光顕微鏡写真 (簡易消光)

Qtz: 石英 Mc: 微斜長石 Ab: 曹長石 Bt: 黒雲母

III 岩石構成鉱物の粒度組成

花崗岩と片麻岩の鉱物の粒度を検討するために、岩石薄片をつくりその偏光顕微鏡観察をおこなった。使用した試料は花崗岩のNo.3と片麻岩のNo.2である。肉眼観察から花崗岩には岩石の切断面の方向による粒度の差異は見られなかったが、片麻岩には粒度の差異があったので、片麻岩は平均的な粒度を示す切断面を薄片作成に使用した。上述した測定結果を裏付けるように、両岩石ともに石英(Qtz)、微斜長石(Mc)、曹長石(Ab)の主要鉱物と、少量の黒雲母(Bt)が観察された(写真1)。花崗岩においてはそれぞれ



第3図 鉱物粒子の粒径

の鉱物粒子の粒径が大きい。また石英は他形で、微斜長石は半自形ないし他形、曹長石は自形ないし半自形、そして黒雲母は自形であった。また、粒子配列などがつくる線構造、縞状構造は発達していない(写真1)。一方片麻岩においては、変成作用を受けて片麻状組織が観察され、粒界は花崗岩より複雑かつ不明瞭であり、鉱物粒子の粒径は小さい。

両岩石の曹長石と黒雲母の粒界や粒子内には、風化による2次鉱物が生成されており、顕微鏡下では黒色に見える場所がある。片麻岩では、微斜長石もやや風化している様子がみられる。また、花崗岩と片麻岩のいずれも石英粒子にはクラックがかなり多く発達している。

構成鉱物の粒径の計測は、以下のようにおこなった。(1) 偏光顕微鏡の画像を写真撮影する。(2) 写真上に一定の範囲を設定し、範囲内の石英、微斜長石、曹長石、黒雲母をそれぞれ粒子ごとにペンで囲う。(3) 筑波大学地球科学系地質学教室が所有する三谷商事株式会社製WIN ROOF上で画像処理して、鉱物粒子ごとの面積を計測し、次式により円相当径(d)を求めた。

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (1)$$

ここで、 A : 鉱物粒子の断面積、 π : 円周率である。この d をその鉱物粒子の粒径とした。測定個数は、各鉱物につき16~258個である(第3表)。

第3表によると花崗岩と片麻岩の各造岩鉱物の最大粒径と最小粒径は約10~60倍の差があるが、粒径ごとの鉱物粒子の断面積を示した第3図から、ほとんどの鉱物粒子は約10倍以下の粒径の分布範囲に入ることがわかる。また、花崗岩の全岩の50%粒径は1.96 mmとなり、片麻岩の全岩の0.66 mmの約3倍の大きさとなった。全岩の粒径は写真上に設定された一定の範囲内にあるすべての鉱物粒子の粒径を計測したものである。50%粒径とは、フルイ分析や沈降分析の場合には積算重量(または質量)で50%となるときの粒子の粒径のことであるが、薄片は2次元のデータであるので、積算重量ではなく積算面積で50%となるときの粒子の粒径とした。計測した4種類の鉱物の50%粒径を比較すると、両岩石で類似の傾向を示すすなわち、石英と微斜長石の粒径が大きく、50%粒径は花崗岩ではそれぞれ2.58 mm、2.87 mmであり、片麻岩ではそれぞれ0.80 mm、0.68 mmである。曹長

第3表 鉱物粒子の粒径

		計測個数	50% 粒径	最大粒径	最小粒径	標準偏差	合計面積
		個	mm	mm	mm		mm ²
花崗岩	全岩	135	1.96	5.42	0.07	0.83	167.2
	石英	30	2.58	4.00	0.22	0.98	61.7
	微斜長石	22	2.87	5.42	0.21	1.3	50.5
	曹長石	56	1.41	2.04	0.17	0.5	51.8
	黒雲母	27	0.57	0.86	0.07	0.2	3.2
片麻岩	全岩	258	0.66	1.63	0.01	0.22	20.0
	石英	84	0.80	1.63	0.03	0.25	9.7
	微斜長石	49	0.68	1.02	0.04	0.25	6.1
	曹長石	109	0.34	0.67	0.01	0.13	3.8
	黒雲母	16	0.23	0.28	0.05	0.08	2.9

石は石英と微斜長石の半分程度の粒径となり、50%粒径は花崗岩では1.41 mm、片麻岩では0.34 mmである。黒雲母はさらに曹長石の半分程度の粒径となり、50%粒径は花崗岩では0.57 mm、片麻岩では0.23 mmである。いずれの鉱物も50%粒径を比較すると、花崗岩は片麻岩の2~4倍の大きさである。

以上より、両岩石は鉱物組成や化学組成が類似しているのにもかかわらず、花崗岩の構成鉱物の粒径は片麻岩のそれらより3倍程度とかなり大きいことがわかった。

IV おわりに

韓国京畿道で採取した花崗岩と片麻岩に対して、

(1) X線粉末回折分析、(2) 蛍光X線分析、(3) 岩石薄片の偏光顕微鏡観察をおこなった。その結果、以下のことが明らかになった。

- (a) 両岩石の主要な構成鉱物は石英、微斜長石、曹長石、雲母の4種であった。
- (b) 4種の鉱物の岩石に占める構成比は、両岩石に大きな差異はなかった。
- (c) 花崗岩の方が片麻岩より構成鉱物の粒径が約3倍大きかった。

構成鉱物の種類と構成比に大きな差異のないこれらの岩石からなる地形が、既述したように明瞭に異なる原因には、構成鉱物の粒径の差異が関係している可能性がある。すなわち、岩石構成鉱物の粒径の差異によって、風化生成物の物性や風化速度に違いがあることなどが考えられる。今後、野外調査や岩

石風化実験等によりこれらの問題を明らかにしていく必要がある。

謝辞

本研究は著者の一人若月 強の修士論文の一部を骨子としたものである。分析において、農林水産省（現・独立行政法人）国際農林水産業研究センター環境資源部の八田珠郎主任研究官および筑波大学地球科学系の小口千明博士、小室光世博士をはじめ多くの方にご助言とご助力をいただきました。心から感謝いたします。

参考文献

- 韓国国立地質鉱物研究所（1999）：1/25万地質図「SEOUL-NAMCHONJEOM」。
- 金萬亭（1990）：「韓国の河川地形」，古今書院，東京，196p。
- 橋本光男（1987）：「日本の変成岩」，岩波書店，東京，159p。
- 都城秋穂・久城育夫（1975）：「岩石学Ⅱ—岩石の性質と分類—」，共立出版，東京，171p。
- 山崎貞夫（1990）：「はじめて出会う岩石学—火成岩岩石学への招待—」，共立出版，東京，89p。
- Le Maitre, R. W. (1976): The chemical variability of some common igneous rocks, *Jour. Petrology*, **17**, 589-637.