

北京北方, 燕山火成活動の模式地にみる 花崗岩系列と鉍化作用

石原 舜三¹⁾・王 平安²⁾・渡辺 寧³⁾

1. まえがき

中国大陸における花崗岩活動は先カンブリア時代以降断続的に発生しているが, 最も活発であった時期は中生代のジュラ紀-白亜紀である。この時期は別称燕山期とも呼ばれるが, その名は北京地方の燕山山地でこの時期に活発に火山深成岩活動があったことに由来する。この山地には, 標高1,000~2,000mの山々が連なり(写真1-3), 最高峰は北京

北西方の大海蛇山(2,241m)である。万里の長城は北京を守るべく, この山地の地形を巧みに利用して紀元前数世紀から建設されたが, 秦の始皇帝がそれぞれを繋ぎあわせ, 後の明の時代に石やレンガ造りに強化されたものである(写真4)。万里の長城の観光で有名な八達嶺は北京北西方にあり(第1図), 観光客用に整備されたものである。

燕山期の火成活動は珪長質な火山と深成活動で特徴づけられ, 中国東部からコリア半島にかけ



写真1 燕山山地は花崗岩類が谷に刻まれ急崖を造る南画の世界である。そこは近年著しい経済発展をへて2008年にはオリンピックも開かれる北京から, 車で1時間余りの距離である。東裕村にて,

1) 産総研 特別顧問
2) 東京大学工学部
3) 産総研 地圏資源環境部門

キーワード: 燕山期, ジュラ紀, 白亜紀, 花崗岩類, 磁鉄鉍系, 帯磁率

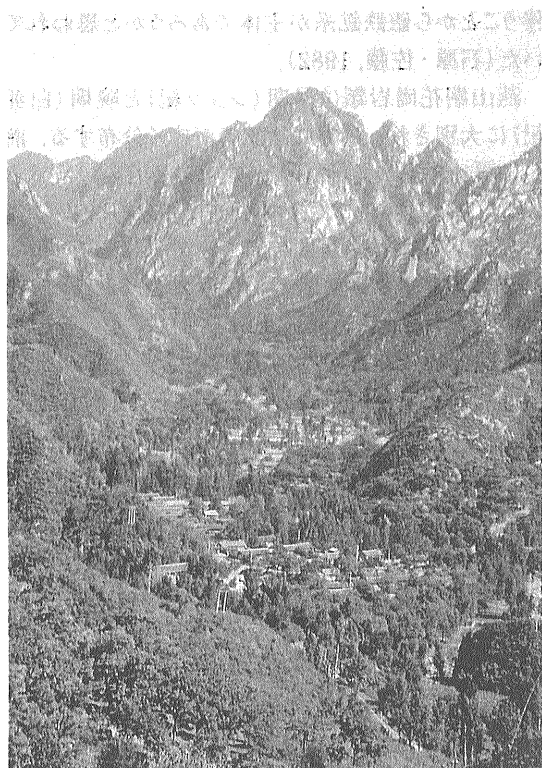


写真2 山懐の集落, 八道河.

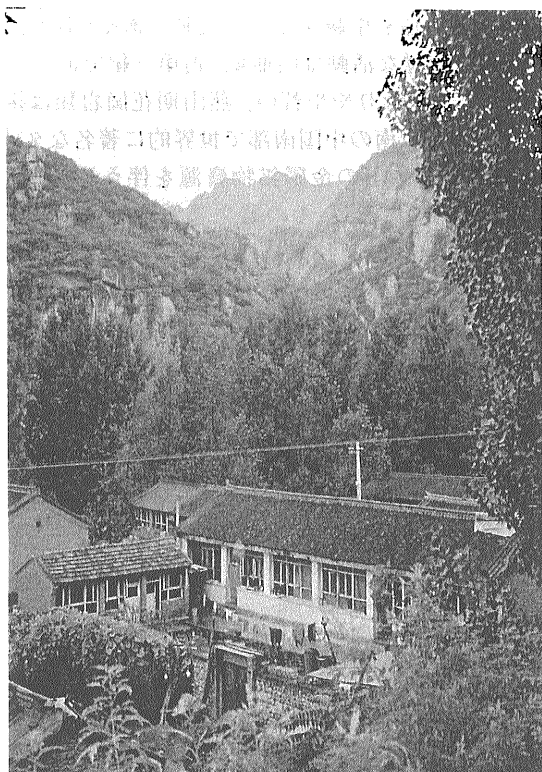


写真3 内庭を持つ中国の一般的農家, 石門山南西方.

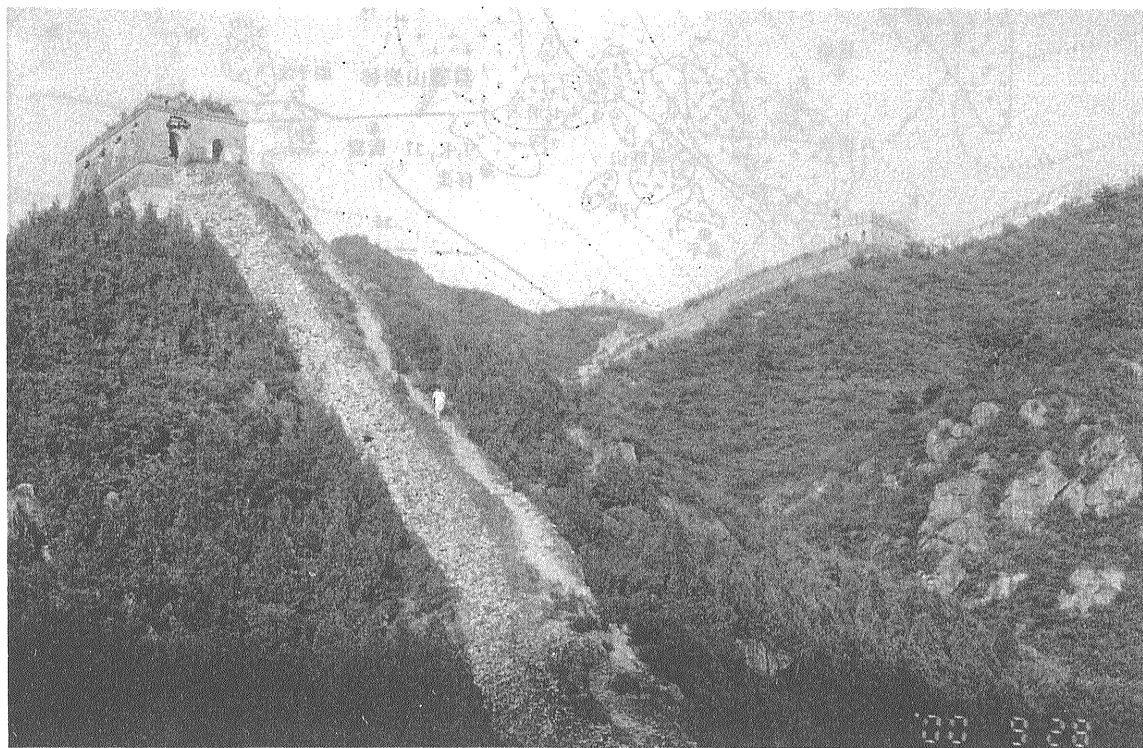
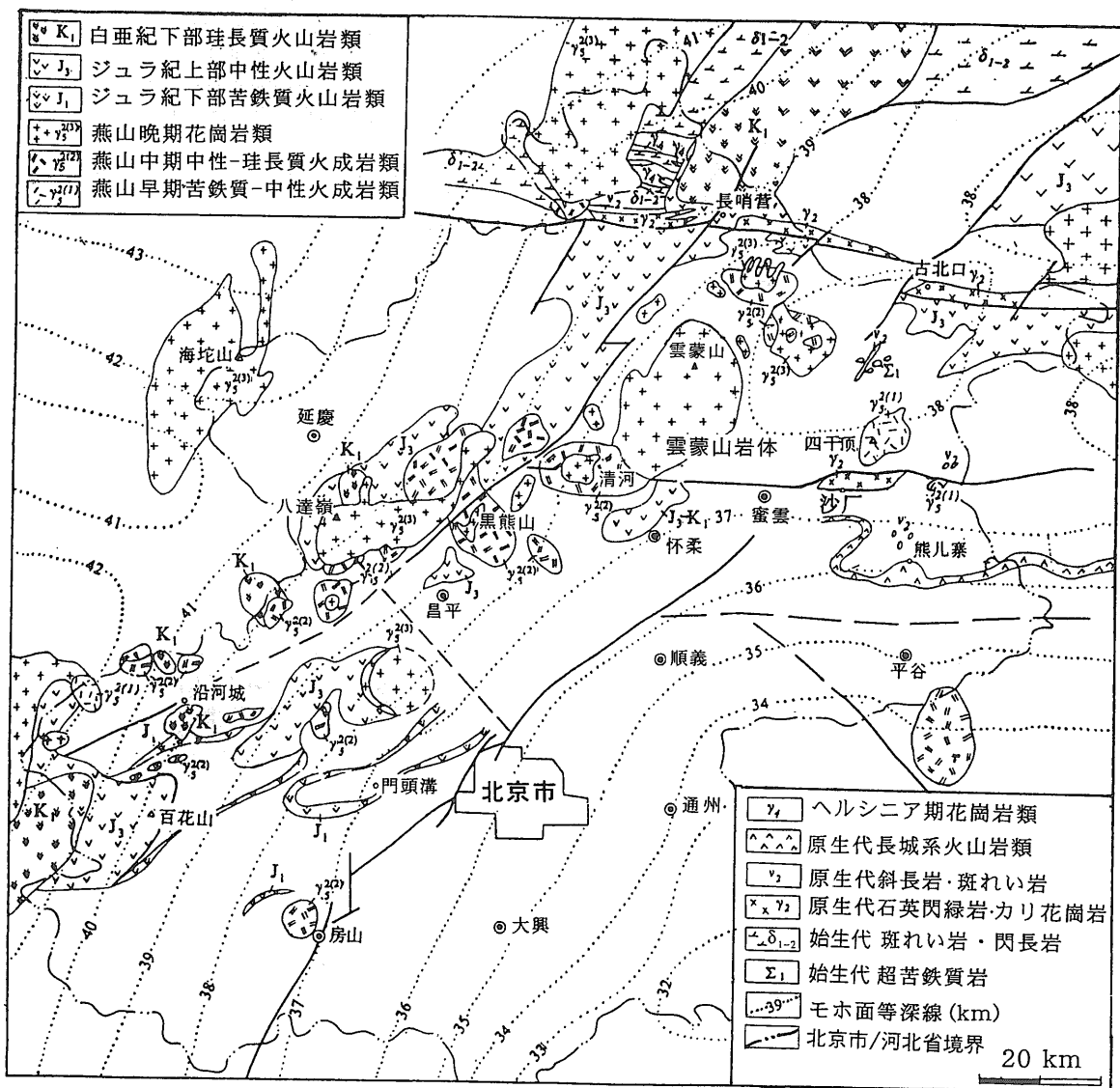


写真4 万里の長城裏街道, 黄花城. 未整備の長城を一組のヨーロッパ人が散策していた.

ての地域に最も卓越する火成活動である。我が国における同様な活動は白亜紀-古第三紀であって、中国におけるよりやや若い。燕山期花崗岩類は揚子江下流域以南の中国南部で世界的に著名なタングステン・錫などの金属鉱物資源を伴うために詳しく研究されており、その酸化還元状態は主に還元型で、かつチタン鉄鉱系/磁鉄鉱系比が地域別、時代別に偏在することがわかっている (Ishihara & Wang, 1999)。一方、揚子江以北の花崗岩類は、秦嶺構造帯や東北部中国に分布する。その性格は十分には解明されていないが、モリブデン鉱床を

伴うことから磁鉄鉱系が主体であろうかと思われていた (石原・佐藤, 1982)。

燕山期花崗岩類は早期 (ジュラ紀) と晚期 (白亜紀) に大別され、量的には前者が広く分布する。前者は更に3または4亜期に、後者は2亜期に分けられる。コリア半島においても同様に、ジュラ紀に属する大宝花崗岩類が最も広く分布する。この花崗岩類は主にチタン鉄鉱系から構成されることがわかっていたが (Ishihara et al., 1981)、その後の組織的調査でも先カンブリア紀基盤地域では、ジュラ紀・白亜紀花崗岩類は共に、主にチタン鉄鉱系に



第1図 北京市北方の花崗岩類の分布 (郁ほか, 1994)。

属し、慶尚盆地の白亜紀(“佛国寺”)花崗岩類は主に酸化型の磁鉄鉍系に属することが判明した(Jin *et al.*, 2001).

それでは同じ華北-コリア地塊に属し、かつ燕山火成活動の模式地である燕山山地(第1図)ではどうであろうか。中国では花崗岩の研究論文に造岩鉍物を分離して記載する方法がとられており、全岩化学分析も湿式によるものが多く、酸化-還元状態を知る手掛かりが得られる(北京市地質鉍産局, 1991, 郁ほか, 1994)。これらを参考にしながら燕山火成活動の模式地における花崗岩系列について考えてみたい。

2. 燕山山地の花崗岩類

燕山山地には珪長質深成岩類が先カンブリア時代から広く分布している(第1図)。これらは時代的には始生代(または長城期以前)、原生代中期、古生代末のヘルシニア期、三疊紀に属する印支期、燕山期、第三紀のヒマラヤ期に分けられる。他の地域と同様にヘルシニア期の一部は三疊紀に属する可能性がある(石原・佐藤, 1982)。またヒマラヤ

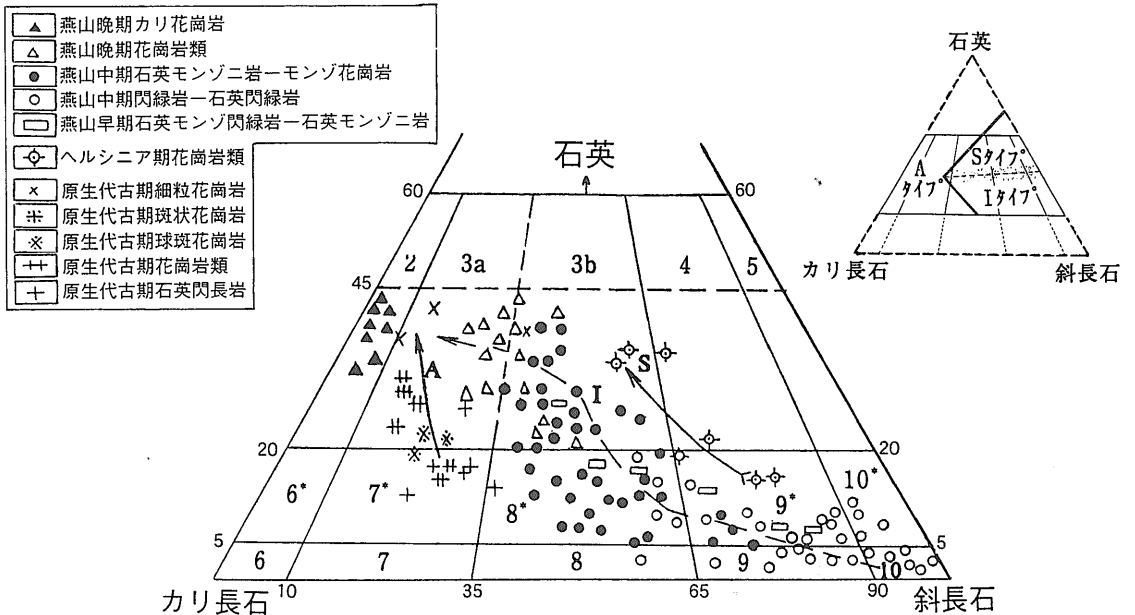
期の火成岩類は少量である。

火成活動は古い構造線と新しい北東系の断裂に関連してみられる(第1図)。

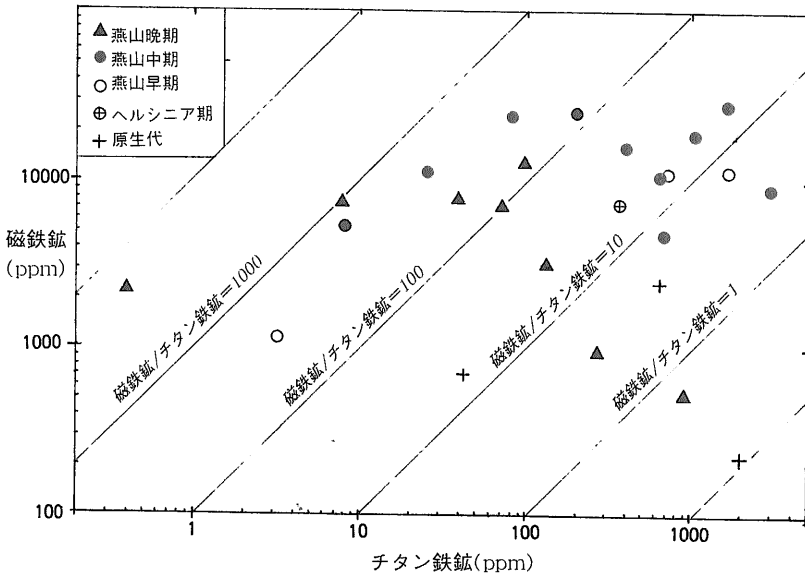
2.1 古期花崗岩類

始生代と原生代の花崗岩類は石英閃長岩から閃長花崗岩に至る鉍物組成を示し、非常に珪長質である。原生代花崗岩類はラパキヴィ長石の斑晶を持つラパキヴィ花崗岩(石原, 2001)があって、詳しく研究された(Rämö *et al.*, 1995)。ここでもフィンランドと同様に、張力断層に沿ってアノーソサイト/ラパキヴィ花崗岩(17億年)とアルカリ花崗岩/輝緑岩(16億年)のバイモーダルな火成活動としてみられ、極めてAタイプ的である。ヘルシニア期花崗岩類は逆に石灰質で、石英モンゾ閃緑岩からモンゾ花崗岩の鉍物比を持つものが多い(第2図)。

印支期の花崗岩類で最も明瞭なものは、Rb-Sr全岩法やU-Pbジルコン法で268-190Ma(n=15)の年代を示すアルカリ花崗岩類である。これは北京東方の遼寧省から燕山を経て西方の陰山にかけてほぼ東西に点在するストック状の小岩体である(Yan *et al.*, 1999)。



第2図 北京市北方花崗岩類の斜長石/カリ長石/石英鉍物容量比(郁ほか, 1994)。右上はBowden *et al.* (1984)が提案するラクラン褶曲帯におけるA, I, Sタイプ花崗岩類の領域。打点部は漸移帯。→にA, I, Sは北京市北方におけるそれぞれの進化トレンド。



第3図 北京市北方花崗岩類の磁鉄鉱とチタン鉄鉱の含有量(郁ほか, 1994).

燕山期の花崗岩活動は当地域では早, 中, 晩期に区分される. 大局的に早期で最も苦鉄質であり, 後期ほど珪長質である(第2図).

2.2 燕山早期花崗岩類(195-160Ma)

この時期の深成岩活動は同時期の玄武岩・安山岩活動と密接に伴って分布する. 貫入岩は東北東系と北西系の断層規制を受けて小規模に分布す

る. 斑れい岩から石英閃緑岩-石英モンゾニ岩に及ぶ岩質を持つが, 石英モンゾニ岩は累帯構造を持つ岩体の分化相に存在するに過ぎない. 前者の斑れい岩からはジルコン年代について184.6Ma(U-Th-Pb法)が, 後者の石英モンゾニ岩からは191.7Maが得られている. 珪長鉱物比は石英モンゾ閃緑岩から石英モンゾニ岩・モンゾ花崗岩に至る変化を示す(第2図).

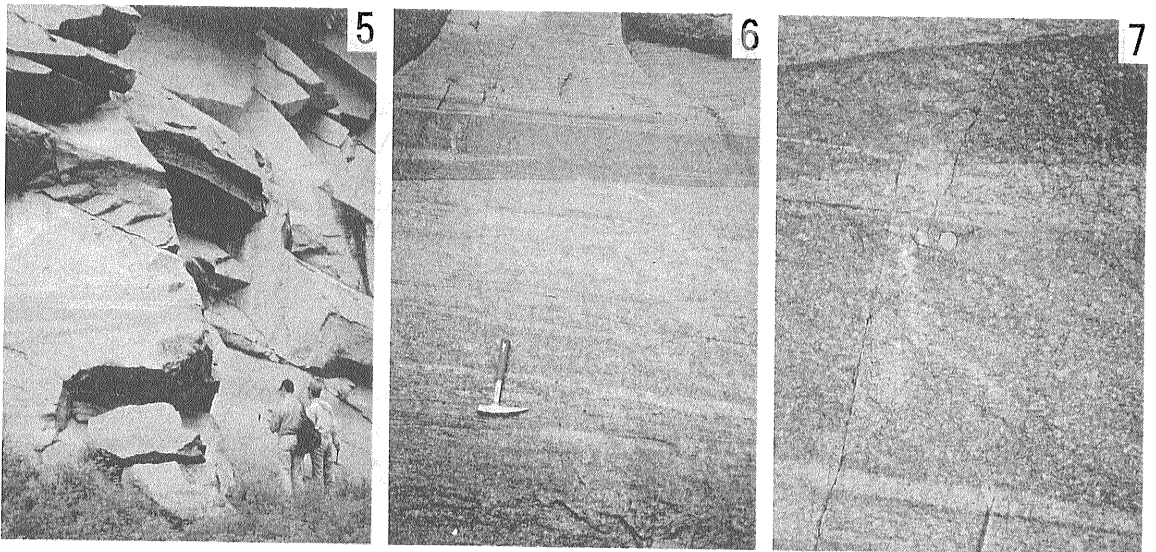


写真5-7 水平方向の縞状構造を持つ燕山期の黒雲母花崗岩類:雲蒙山北縁部. 5 遠景, 6 中景:黒雲母シュリーレンと珪長質岩床が同じ方向の破碎作用を受ける. 7 同クローズアップ:カリ長石は桃色, 一部は斑晶状, コインの直径は23mm.

2.3 燕山中期花崗岩類 (160-135Ma)

この時期の花崗岩類は東西系の地背斜帯に貫入し、両側にジュラ紀の安山岩・粗面安山岩からなる火山岩盆地を伴う。個々の花崗岩体は北東、北西方向の裂か系の規制を受け、ストック状に産出する。これら深成岩体は更に2時期、すなわち前期 (160-145Ma) の閃緑岩-石英閃緑岩類と後期 (145-135Ma) の石英モンゾニ岩-モンゾ花崗岩類に分けられる。閃緑岩類はアンクラヴとしても一般的である。珪長3鉍物比上は閃緑岩から石英モンゾニ岩に至る領域、更にはモンゾ花崗岩領域にプロットされる(第2図)。周辺に熱変成作用や熱水変質作用を及ぼす。

2.4 燕山晚期花崗岩類 (135-80Ma)

この時期の深成岩類は最も広く露出する。白亜紀初期の流紋岩類と密接に分布し、この火山岩類や燕山中期花崗岩類に貫入する。一般に北北東方向の深部断裂に規制されてバソリス状に分布する。

露出面積400km²の雲蒙山岩体では、苦鉄質アンクラヴやアプライト/ペグマタイト岩床で示される花崗岩体の内部構造が水平～緩傾斜であり(写真5-10)、固結構造と多時期に亘る水平破碎運動との関係が示唆される。バソリス付近の巨大な負の重力異常からこの花崗岩体は広く潜在しているものと考えられる。

この時期の花崗岩類は更に前期 (135-115Ma) と後期 (115-80Ma) に分けられる。前期は一般に黒雲母花崗岩類であり、後者は小規模なアルカリ花崗岩、閃長岩、フェルサイト、石英斑岩などである。珪長鉍物比上はモンゾ及び閃長花崗岩、そし

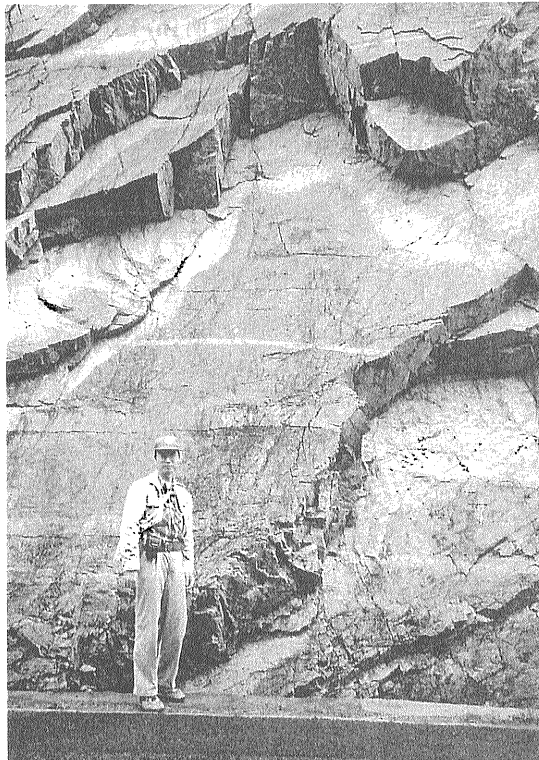


写真8 雲蒙山岩体では水平構造が特徴的である。岩体南部の黒雲母花崗岩中のアプライト岩床。

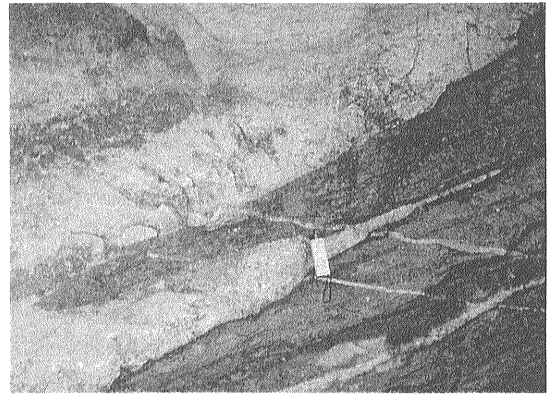


写真9 原生代の片状閃緑岩(右下暗色部)に貫入する燕山期のアプライト質優白花崗岩(左上白色部)。雲蒙山岩体、四合堂入口付近。

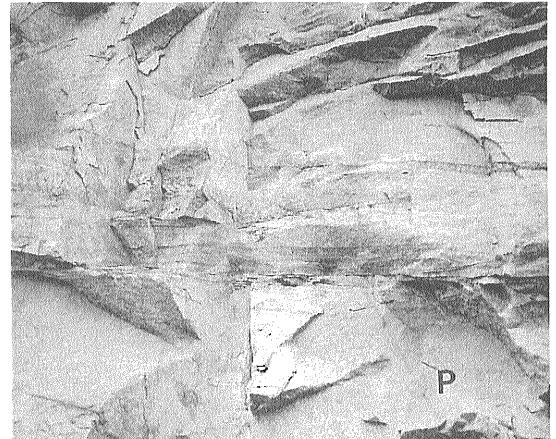


写真10 黒雲母花崗岩中の片状構造。ここでもシュリーレンとペグマタイト岩床が貫入方向と平行に破碎している。最末期にはそれと直交するペグマタイト細脈(P)も晶出。四合堂入口付近。

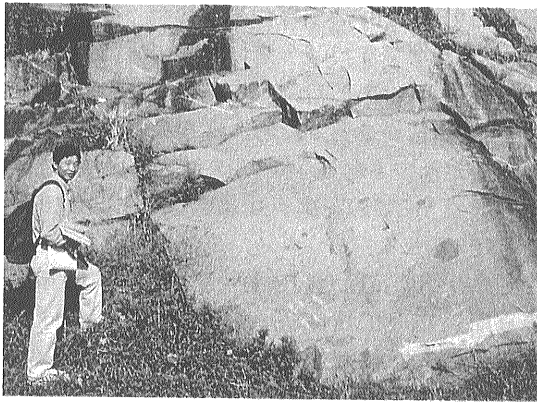


写真11 扁平化が弱いアンクラヴを持つ片状花崗閃緑岩。雲蒙山岩体南西方の清河岩体，長圓付近。

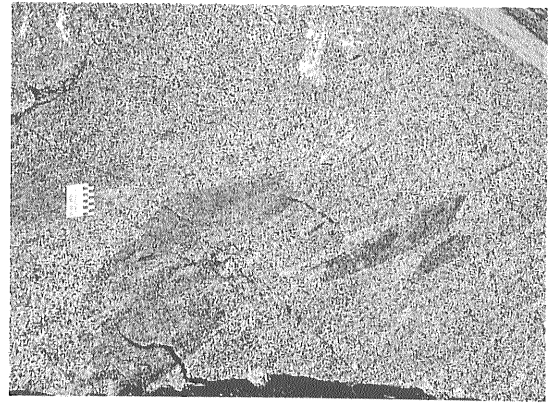


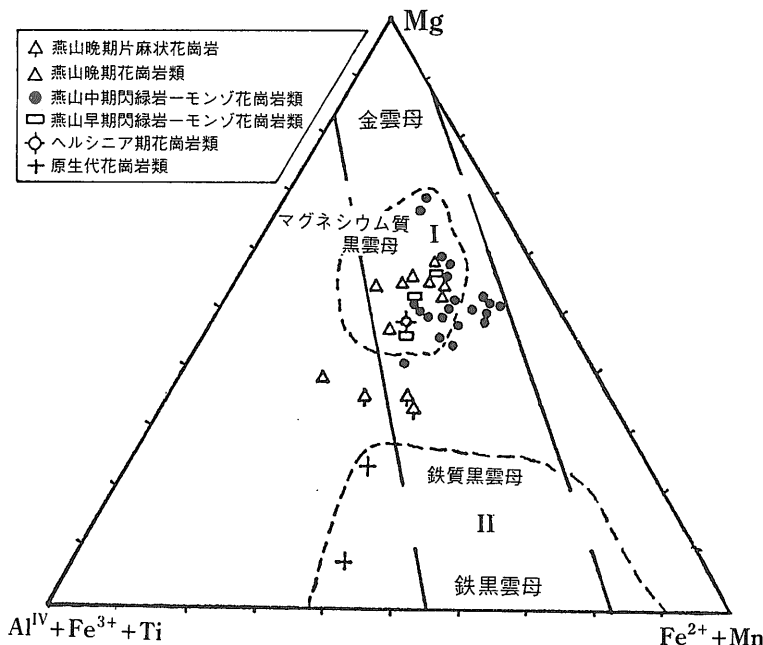
写真12 同左，片状構造が著しい部分。

てアルカリ花崗岩領域にプロットされる(第2図)。

3. 花崗岩系列の判定

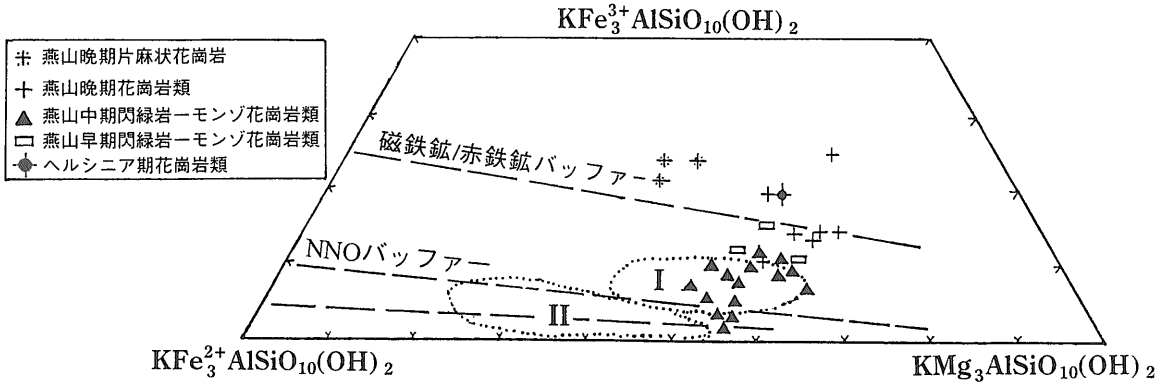
花崗岩系列の判定には磁鉄鉱含有量の決定が必要である。中国では花崗岩の研究方法として10kg以上の岩石を粉碎して分離処理し、重量法で微量造岩鉱物量を決定することが日常化しているので(北京市地質鉱産局, 1991), その結果が利用できる。一説によると、この鉱物分離作業は新卒生に与えられる最初の室内作業とのことであるが、造

岩鉱物の存在量の概要を知るには便利である。郁ほか(1994)は燕山山地から35個についての分離結果を報告した。磁鉄鉱系/チタン鉄鉱系の境界はモード不透明鉱物含有量で1,000ppmが目安であり(Ishihara, 1977), そのほとんどは一般には磁鉄鉱であるが、燕山山地では原生代花崗岩類について1個がチタン鉄鉱系、2個が磁鉄鉱系、ヘルシニア期は1個のみのデータであるが磁鉄鉱系、燕山早期(n=5), 中期(n=13), 晩期(n=13)は全て磁鉄鉱系に属することを示している。磁鉄鉱/チタン鉄鉱比は1から1,000以上の非常に幅広い変化を示すが(第3図)、一般岩石の鏡下観察から推察し



第4図

北京市北方花崗岩類の黒雲母の鉄/マグネシウム比(郁ほか, 1994). Iは磁鉄鉱花崗岩類の黒雲母の領域, IIはチタン鉄鉱系花崗岩類の黒雲母の領域。



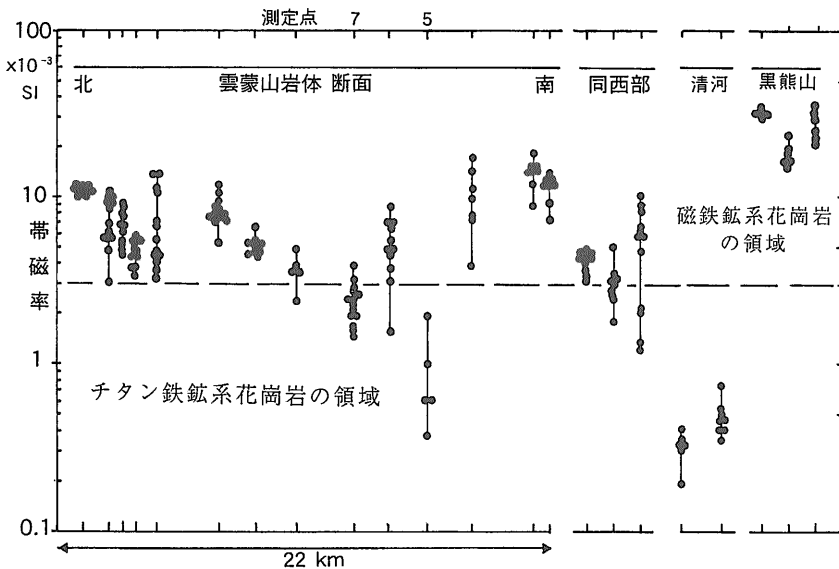
第5図 北京市北方花崗岩類の黒雲母の Fe^{3+}/Fe^{2+} 比(郁ほか, 1994). Iは磁鉄鉍花崗岩類の黒雲母の領域, IIはチタン鉄鉍系花崗岩類の黒雲母の領域.

て, 燕山期の試料ではチタン鉄鉍が十分に集められていない可能性も考えられる.

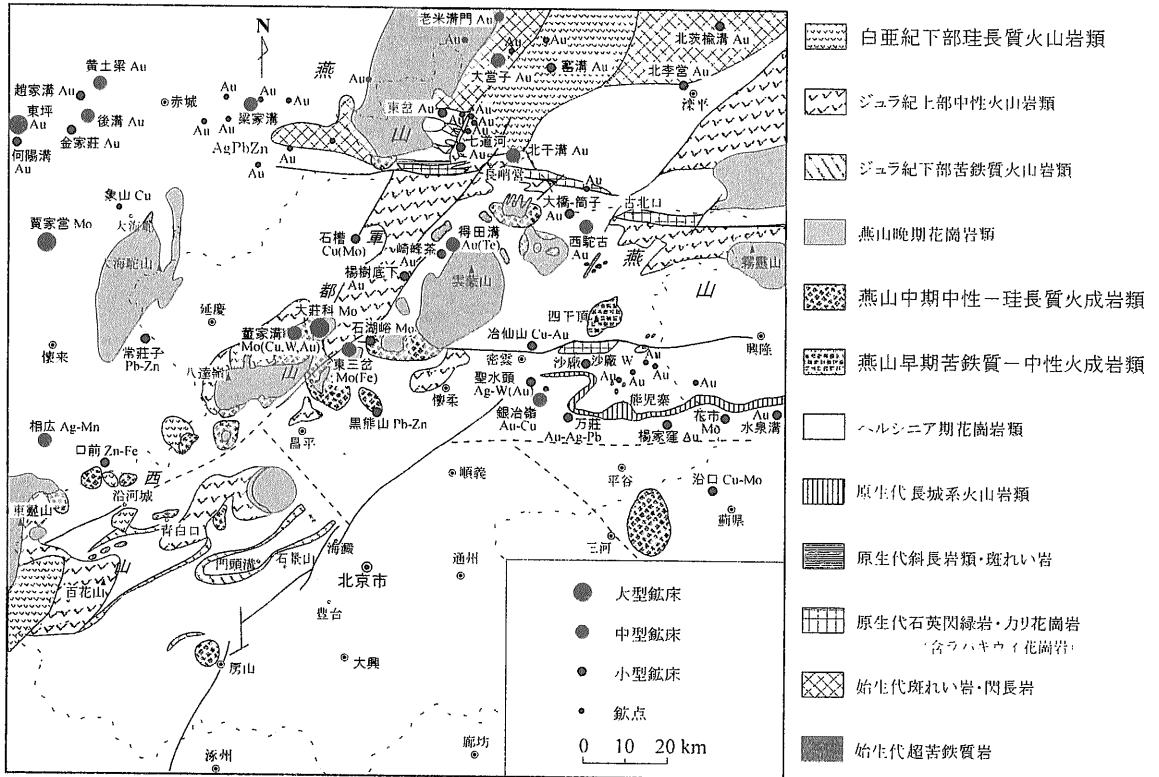
磁鉄鉍は花崗岩においては角閃石・黒雲母などのFe-Mg, 珪酸塩鉱物と密接に関連して産出し, 一般に多角形の自形結晶として見られるので, 最早期晶出相の一つである. 磁鉄鉍の晶出によってFeが消費されるために磁鉄鉍系では黒雲母のMgが多く, チタン鉄鉍系では逆に Fe^{+2} に富む傾向がある. 郁ほか(1994)が示した黒雲母の化学分析値によると(第4図)鉄質ないし鉄黒雲母に属するものは原生代花崗岩のみであり, 次に燕山晩期の片麻状花崗岩の黒雲母がFeに富み, 一般の燕山花崗岩類に場合はMg質黒雲母であって, この順序に

花崗岩類中の磁鉄鉍量が多いことを示している.

他方, 黒雲母の $Fe_2O_3-FeO-MgO$ に基づくと, 燕山期花崗岩類は大局的にはニッケル/ニッケル酸化物(NNO)バッファより高い, 酸化的な磁鉄鉍系列の領域を占める(第5図). 詳細には燕山中期花崗岩類, 燕山早期花崗岩類, 燕山晩期花崗岩類の順に酸素フガシティが上昇している. 一方, 燕山晩期の片麻状花崗岩類はこの図で磁鉄鉍/赤鉄鉍バッファよりも酸化的な領域を占めるが, この花崗岩類は記述のように黒雲母のFe含有量は高い結果を示している. 両者を総合的に判断すると, この片麻状花崗岩類はニッケル/ニッケル酸化物付近の酸化度で晶出した花崗岩類が, マグマ期後期の変



第6図 北京市北方, 雲蒙山岩体ほかの岩石帯磁率の南北断面.



第7図 北京市北方地域の火成金属鉱床の分布。鉱床データは裴ほか(1998)に基づく。

形時に地表水などの混入によって、 $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ の変化を伴ったものとして理解される。

磁鉄鉱量はまた帯磁率測定によって簡単に求めることが出来る。カッパメーターKT-5による筆者らの予察的な結果を第6図に示す。昌平北東方の黒熊山岩体は少量の花崗岩を中心部に伴う苦鉄質深成岩類からなるが、その石英閃緑岩-トナル岩は $15.1 \sim 35.9 \times 10^{-3} SI$ の著しく高い帯磁率を示した。その北東方の清河岩体の同時期の同質岩類からは逆に $0.2 \sim 0.5 \times 10^{-3} SI$ の著しく低い値が得られた。この岩類に見られる顕著な片麻状構造と若干の緑簾石化などから、磁鉄鉱の二次的な分解とそれによる帯磁率の低下も考えられる。

雲蒙山岩体は一般に黒雲母花崗岩を主とする珧長質岩である。その帯磁率は $3 \sim 18 \times 10^{-3} SI$ の磁鉄鉱系の値を示す。例外的な2例については、測点7の黒雲母花崗岩では片麻状構造が著しく、測点5ではアプライト・ペグマタイトが多産する上にホストの花崗岩が弱い風化作用を受けており、共に磁鉄鉱の赤鉄鉱化が予想されるものである。

4. 鉱化作用

以上のように、燕山山地の燕山花崗岩類は磁鉄鉱系に属し、同時代の火山岩類とも相伴って分布する。このような浅成の磁鉄鉱系帯は鉱化作用を伴う可能性が高い。当地域のものはどうだろうか？

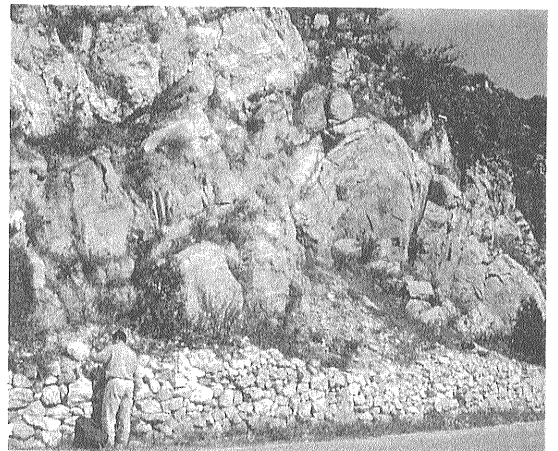


写真13 微褶曲構造を持つ大理石化した石灰岩。

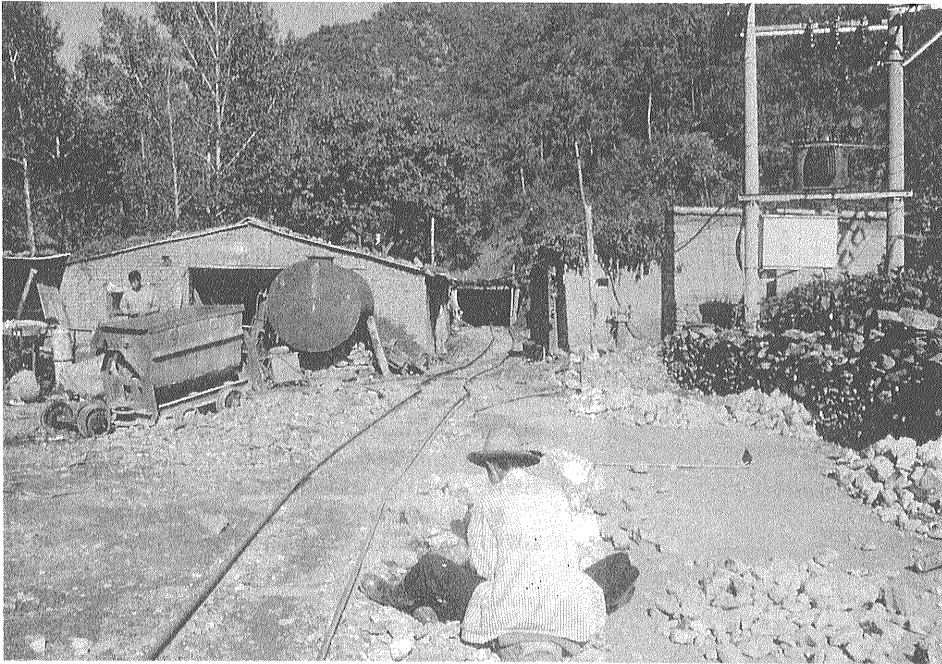


写真14
小規模に金を採掘する崎峰茶金山。

当地域は華北鉍床生成区(裴ほか, 1998)の一部に当たり, 燕山期火成活動に関連して21鉍床が知られている(第7図)。花崗岩類と密接な鉍床としては, ポーフリー型輝水鉛鉍鉍床がある。大規模鉍床として買家営, 爆裂性角礫岩を伴う大荘科があり, 中規模鉍床として董家溝(Mo 5.3万トン)が発見されている。当地域には原生代の石灰岩類(写真13)が広く分布するが, 燕山期花崗岩類に貫入される部分は少なく, スカルン鉍床は3箇所知られているに過ぎない。いずれも中規模鉍床に分類されており, 東三岔ではMo(Zn, Fe)鉍床, 梁家溝ではAg-Pb-Zn鉍床, 銀冶嶺のAg-Pb-Zn鉍床ではAg 250トンと報告されている。

近年の金探鉍ブームに乗って当地域には多数の金鉍床が発見されている(第7図)。鉍床は断層, 破碎帯などの規制を受ける石英脈型, 一部レンズ型であり, 珪化, 緑泥石化, 絹雲母化, 黄鉄鉍化, 炭酸塩化などの変質作用を伴う。鉍石鉍物は主に自然金であり, 一部にカラベラス鉍($AuTe_2$)やベッツ鉍(Ag_3AuTe_2)を産する。また金はコロイド状微粒結晶として黄鉄鉍などの硫化物にも含まれる(王ほか, 1998)。

代表的なものは中規模鉍床の得田溝(Au 16トン)であり, これはAu, Agのほか, Teを伴う。同じ

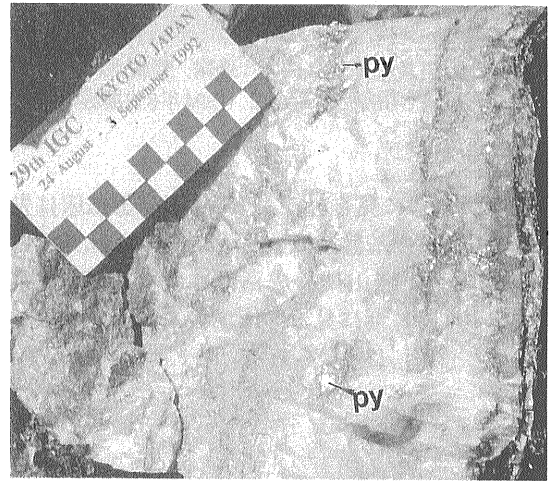


写真15 崎峰茶金山の石英脈鉍石。含金黄鉄鉍(py)が盤際に平行に配列。

く中規模鉍床として西駝古(Au 5トン), 北千溝(Au 5トン), 小規模鉍床として, 七道河(Au 2トン), 東岔(Au 2トン), 迎城嶺(Au 2トン), 万莊(Au 2トン)などがある。

金鉍床が多産する理由を考察すべく, 鉍脈と鉍床周辺先のカンブリア系変成岩類とのREEパターンの比較研究が崎峰茶鉍床(写真14)で行われた。両者の類似性は明瞭ではなかったものの(王ほか,

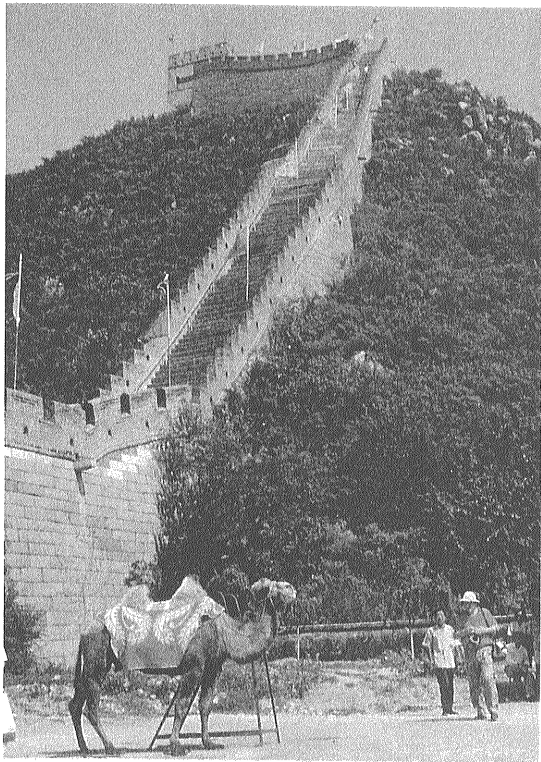


写真16 万里長城の表玄関，八達嶺。整備され，ラクダ試乗も用意されている。1994年8月撮影。

1998) 山東省に見られるように中国の金鉱床は先カンブリア系の基盤を持つ地域に多いことから、古い時代の金が燕山期火成活動に取り込まれ、移動・再濃集して今に見る燕山期の金鉱床が生成したものと一般には考えられている。

5. まとめ

燕山山地の燕山期花崗岩類は先カンブリア系に貫入するもので、早-中期では斑れい岩、閃緑岩などの苦鉄質岩を伴いバイモーダルであるが、晩期では黒雲母花崗岩を主とする珪長質岩となる。最末期の活動はアルカリ花崗岩で、さらに珪長質となる。

燕山期の全期を通じて基本的には磁鉄鉱系列からなり、チタン鉄鉱系列が主体の華南の早燕山花崗岩類やコリア半島の大宝花崗岩とは異っている。この違いは基盤岩の性質と構造運動の相違に起因するものと考えられる。

文 献

- 北京市地質産局(1991):北京市区域地質誌。地質專報-区域地質 27, 597 p.
- Bowden, P., Batchelor, R.A., Chappell, B.W., Didier, J. and Lameyre (1984): Petrological, geochemical and source criteria for the classification of granitic rocks: a discussion. *Physics Earth Planet. Interior*, 35, 1-11.
- Ishihara, S. (1977): The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geol.*, 27, 293-305.
- 石原舜三(2001):フィンランド南部のラバキヴィ花崗岩類:その起源、酸化度と関連鉱床。地質ニュース, no. 564, 16-32.
- 石原舜三・佐藤啓生(1982):中国の鉱物資源-3, 地質ニュース, no. 340, 30-45.
- Ishihara, S. and Wang, P. A. (1999): The ilmenite-series and magnetite-series classification of the Yanshanian granitoids of South China. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 50, 661-670.
- Ishihara, S., Lee, D. S. and Kim, S. Y. (1981): Comparative study of Mesozoic granitoids and related W-Mo mineralization in southern Korea and southwestern Japan. *Mining Geol.* 31, 311-320.
- Jin, M.-S., Lee, Y.-S. and Ishihara, S. (2001): Granitoids and their magnetic susceptibility in South Korea. *Resource Geol.* 51, 189-203.
- 裴 栄富・呂 鳳翔・范 繼璋・方 如恒・斎 朝順(1998):華北地塊北縁および其北側金属鉱床成鉱系列と勘査, 北京地質出版社, 237p.
- Rämö, O. T., Haapala, I., Vaasjoki, M., Y. J.-H. and Fu, H.-Q. (1995): 1700 Ma Shachang complex, northeast China: Proterozoic rapakivi granite not associated with Paleoproterozoic orogenic crust. *Geology*, 23, 815-818.
- 郁 建華・付 会芹・張 風藍・管 梅生(1994):北京地区岩漿深成作用。地質出版社, 196 p.
- 王 平安・李 中堅・董 法先・陳 柏林・徐 剛・王 世癸(1998):北京杯柔嶺峰茶-得田溝金鉱田の希土類元素地球化学特性。地質力学学報, 4, 30-38.
- Yan G., Mu B., Xu B., He G., Tan L., Zhao H., He Z., Zhang R. and Qiao G. (1999): Triassic alkaline intrusives in the Yanliao-Yinshan area: their chronology, Sr, Nd and Pb isotopic characteristics and their implication. *Sci. China, Ser. D*, 42, 582-587.

ISHIHARA Shunso, WANG Ping'an and WATANABE Yasushi (2001): The granitoid series and mineralizations at the type locality for the Yanshanian magmatism, north of Beijing, China.

< 受付: 2001年8月18日 >