

パキスタンの地質概観

白波瀬 輝夫¹⁾・久保 和也²⁾

はじめに

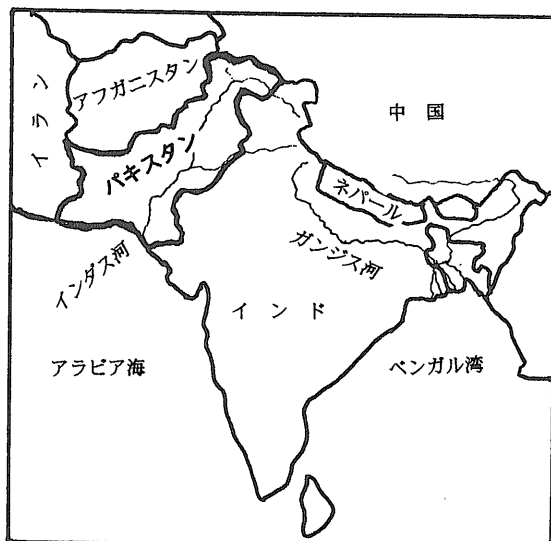
パキスタンの北部の地形は、いつも日本との往復で利用するパキスタン国際航空(PIA)の北京経由の東京-イスラマバード-カラチ直行便の窓から眺めることができる。ヒマラヤ山脈西部のカラコルム山脈、さらに西方でアフガニスタンとの国境となるヒンドゥークシ山脈は6,000~8,000m級の高峰が氷河を抱いて連なる。とりわけK2の孤峰は非常に遠くからでも見分けることができるし、ナンガ・パルバット山は航路のすぐ東に位置しており、手に取るように鑑賞できる。フライトによっては操縦席に招かれて、眼下を過ぎるインダス河谷の景観に興奮することもある。

パキスタンの地質に関する調査・研究はインドとの分離以前においては、インド地質調査所による調査が行われる一方、ヨーロッパ・アルプスの研究者がヒマラヤ山地に入って、おもに北部を調査してきた。独立・分離以後のパキスタン地質調査所の活動は徐々に拡大され、5万分の1地質図幅の作成にも力を入れてきたが、現在完成率は未出版のものを入れて30%弱である。国土の南半分についての組織的な地質図の作成は、カナダのHunting Survey社によって行われ、25万分の1の地質図幅が1960年に完成し、現在でも充分利用できる。ちなみに、全土の地形図がパキスタン調査局によって、5万、25万、50万、200万分の1が完成している。4万分の1の空中写真も1950年代の撮影ではあるが全土そろっており、道路を除けば現在でも充分使用出来る。

パキスタン地質調査所の手になる広域地質図としては1964年版の200万分の1の地質図(バングラデ

シュを含む)が長く利用されてきたが、1993年に100万分の1地質図が完成した。しかし、1982年に出版された200万分の1の構造地質図が、パキスタンの地質と構造発達史を概観するには最適である。

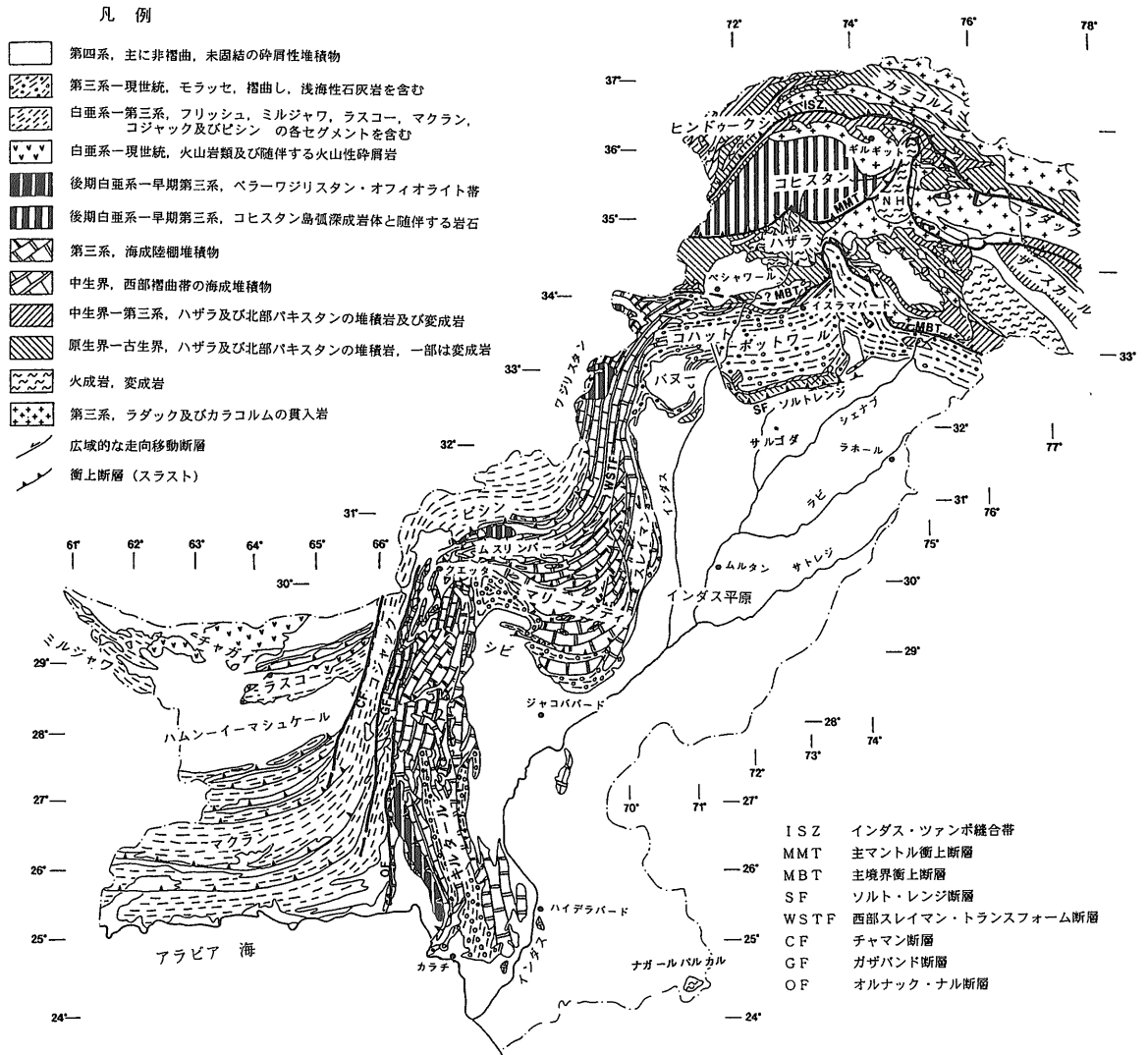
欧米諸国の協力によって作成された地質図も広い範囲を扱っており、地質調査所の事業を十分に補ってきた。石油・天然ガスなどを対象とする炭化水素研究所が米国とドイツの協力で設立されて十数年になるが、その協力の中でドイツ地質調査所のBenderとこの研究所の所長であるRazaによって編集された“パキスタンの地質(1995)”は、パキスタンの地質層序と資源をまとめており、50万分の1の構造地質図が付いている。これは衛星画像(MMS)によっていわゆる中軸帯の南半部の断層系を解析したもので地質解釈そのものには新味はない。



第1図 パキスタンの位置.

1) 元地質調査所 国際協力室
2) 地質調査所 地質部

キーワード: パキスタン, 地質概観, インド大陸, ユーラシア大陸



北部に関しては、1970年代以降、インダス河谷に沿って建設されたカラコルム・ハイウェイの存在は地質調査・研究に大きな影響をもたらし、とくに欧米の研究者とペシャワール大学やパンジャブ大学との共同あるいは独自の調査が増加した。1994年に出版された65万分の1北部パキスタンの地質図 (Searle and Khan 編集) は、それまでの全ての成果をまとめたもので、北は中国国境から南はソルトレンジまでを含んでいる。ソルトレンジ全域については6葉の5万分の1の地質図として英国の協力で出版されている。その西部のコハットやバヌー地域、ハザラ地域、チトラル地域についてはいずれも

米国地質調査所の協力で5万分の1の地質図などがUSGS Professional Papersの付録として出版されている。

地質の概観

パキスタンの地質を大きくとらえるには、現在の地質構造とそこから読みとられた構造発達史、それもプレート・テクトニクスに基づいた説明によると分かり易い。パキスタンの地質は、一口で言うと、先カンブリア紀の岩石を含む古い大陸地殻である Gondwana 大陸がジュラ紀中期以降に分裂してイン

ド大陸を生じ、それを核とするインド・プレートが北上し、北方にあったユーラシア大陸を核とするユーラシア・プレートに対して沈み込みを続けることによって形成されている。この結果、海洋底の岩石を境界にしわよせたり、その後の大陸地殻どうしの衝突によって一方の地殻が他方の地殻の下へもぐり込んだり、断層で押し上げられたりして複雑な構造を示しているが、基本的には二つの大陸の衝突した境目がパキスタンの国土の北から南までを貫いていると言ってよい。

第2図に、前に述べたドイツのBannert (Bender and Raza, 1995)による地質図を示す。この図で北部のコヒスタン及びラダック地塊の南縁を区切る主マントル衝上断層(MMT)よりも南側、西部のチャマン断層及びオルナック・ナル断層より東側がインド・プレートに属している。MMTの北側でインダス縫合帯(ISZ)あるいは主カラコラム衝上断層(MKT)とも呼ばれる断層の南側はコヒスタン及びラダック地塊で、島弧と考えられている。ISZより北側がユーラシア・プレートに属する岩石である。

一方、パキスタン西南部のチャマン断層(CF)の西側のチャガイ、ラスコーからマクランにかけての地域は、アフガン地塊とも呼ばれ、インド・プレートに先だって北上し、ユーラシア大陸の南縁に沈み込んでいたアフガン・小プレートに関係した火成岩や堆積物からなる。

1) インダス縫合帯以北：ユーラシア大陸

ISZの北側には、北に凸のISZに平行な構造をもって、南から時代未詳の堆積岩を源岩とする中圧型の角閃岩相の変成岩、ベルム系の石灰岩、三疊系の炭酸塩岩、ジュラ系から白亜系の堆積岩、最も北側におそらくデヴォン系を含む石炭系からベルム系の堆積岩が、著しく褶曲したり、衝上断層で境されて分布する。南縁の変成岩は北傾斜の衝上断層によって北側が衝上している。

ヒンドゥークシでは時代未詳の堆積岩起源で緑色片岩相から角閃岩相の変成を受けた岩石が広く分布する。さらにこれらの岩石の構造に平行に貫入あるいは断層で境されて、大量の花崗岩質の深成岩が分布しており、7,000～8,000m級の高峰の多くは隆起した花崗岩(カラコラム・バソリス)である。貫入時期は大部分が後期白亜紀で大陸の衝突

以前であるが、衝突以後に貫入したとみられる若い花崗岩も少量、ラダック地域やヒンドゥークシ山地に分布する。

これらの岩石は従来、ユーラシア大陸の構成員とされてきたが、最近の研究によれば、インド大陸の分離に先駆けて、デヴォン紀頃から何回も地塊が分離北上し、ユーラシア大陸に衝突しているということから、ISZの北側の岩石は、それらの中のバミール地塊や北チベット地塊の構成員と考えられている(中ほか、本特集)。

2) ISZとコヒスタン及びラダック地塊

コヒスタン地塊については、本特集の中島ほかで紹介されるので簡単にふれるにとどめる。ISZはシャイヨク縫合帯とも呼ばれるが、堆積岩、火山岩、あるいは少量の蛇紋岩からなるメランジである。その南側にある地塊は、両大陸の間に存在した島弧の名残であるという説が有力で、最近背弧海盆の堆積物や火山岩の存在も明らかにされてきた。

コヒスタンでは北半分が白亜紀の火山岩と堆積岩、これらを貫く白亜紀から古第三紀の花崗岩類からなるコヒスタン・バソリスと、古第三紀の火山岩から構成される。一方、南半分は島弧の深部が衝上されて露出しているとされる巨大なガプロノーライトの岩体、角閃岩、超塩基性岩体からなり、これらはグラニュライト相から緑色片岩相にいたる変成を受けている。

ラダックではコヒスタン・バソリスと同時期と思われるラダック花崗岩が白亜紀の火山岩や堆積岩を貫いて、大部分の地域を占めており、コヒスタンのような塩基性ないし超塩基性の岩石に乏しい。

3) MMTの南側：インド大陸の基盤

MMTはコヒスタン島弧とインド大陸の衝突境界であるが、インダス河より西側では、MMTに沿って蛇紋岩やらん閃石片岩などからなるメランジが発達している。マラカンド西方ではメランジの一部とされる超塩基性岩体がインド大陸の変成岩の上に衝上している。これらは島弧の南で沈み込んでいったインドプレートの海洋底物質が島弧に付加されたものと考えられる。

インダス平原でインド大陸の基盤、特に先カンブリア紀の岩石が地表に顔をだしているのは、ソルト

レンジのすぐ南のサルゴダと、インド国境の東南端に当たるナガールパルカルの2ヵ所にごく小規模な露頭があるのみであるが、MMTとMBTの間のハザラ地域には大陸基盤が広く分布している。しかもインド大陸が島弧に衝突した時に、なめらかな縫合線を示さずいわゆるシタクシス(対曲)として島弧にめりこみ、かつ著しく隆起して馬の背のような状態を示している例が、ナンガパルバット・ハラモシュ(NH)山塊である。

NH山塊は主にインド大陸の基盤をなしていた先カンブリア紀の変成岩からなり、北部のオーソナイスは始生代を示すが、さらに衝突時に角閃岩相からグラニュライト相の変成を受けている。この変成岩の中に、小規模ではあるが100万年よりも若い優白質花崗岩の貫入が見られ、インダス河沿いの温泉の熱源とされている。

NH山塊を除くMMTより南の地域は、下部から始生界ないし原生界の変成岩、原生界の堆積岩起源の変成岩、原生界上部からカンブリア系の堆積岩起源の変成岩、カンブリア紀ないしオルドビス紀の花崗岩類、その一部に石炭紀からペルム紀の火山岩を含む古生界の堆積岩などが分布する。さらにその上にペルム系最上部ないしジュラ系より若い堆積岩、古第三系の堆積岩、ペシャワール平原に見られる古第三系の花崗岩類、新第三系の堆積岩、これらを覆う新第三系のモラッセ堆積物などが分布する。

MBT以北の中生界以前の堆積岩は大部分が衝突時に変成され、その変成度はカガン・バレー上流ではエクロジャイト相に達している。MBTの南ソルトレンジ山地に露出するカンブリア系および二畳系から新第三系にいたる堆積岩は全く変成を受けていないが、衝突の影響と思われる多くの平行な北傾斜の衝上断層が認められる。

古生代以降の堆積岩はインド大陸の北側の海域に堆積したものであり、ソルトレンジ山地のペルム系下部までは Gondwana 大陸またはその近辺に堆積したとされているが、ペルム系上部からはテチス海の要素が多くなっている。古第三紀以降の海成の堆積物は大陸棚に形成されたものである。新第三系のモラッセ堆積物は衝突によって上昇したヒマラヤ山地から供給された河川性の堆積物である。

4) インド大陸の北西縁：インダス平原と中軸帯

ソルトレンジ断層の南側からアラビア海まで広がるインダス平原の大部分は、上部更新統から完新統の堆積物や砂漠に覆われているが、カンブリア系及びペルム系より若い堆積岩が石油・天然ガスを含むことが分かってから、この地域で、多くの試錐が行われ、その結果からインダス平原の下の地質構造が明らかになった。

基盤はインド大陸の核をなす先カンブリア系の変成岩や火成岩で、すでに述べたようにその隆起部がソルトレンジの南約80kmにあるサルゴダから南東へ80kmの間に点々と露出している。同様な隆起部がパキスタンの南東端のナガールパルカルに小規模な露出がみられる。インダス平原ではこの先カンブリア系の上に、上部原生界(エオカンブリアン)及びカンブリア系の堆積岩がのり、カンブリア系はドロマイトと蒸発岩を挟む赤色岩が広く分布し、南縁はカラチ北東250kmあたりまで広がっていたとされている。

カンブリア系の上には、ソルトレンジで観察されるように、不整合面を境に下部ペルム系が覆っており、下部古生界を欠いている。下部ペルム系の分布はインダス平原の北半分、かつサルゴダ隆起部よりも西側に限られた南北に長い海域を示している。三畳紀以降になるとインダス平原の西半分を、北はMBTからサルゴダの西、南はアラビア海まで、カラチ東方350km辺りを東縁として、三畳系から始新統まで連続して、インド大陸西縁に堆積した岩石が分布し、白亜系の層厚は最大3,600m程度、始新統のそれは最大5,500m程度までである。地質構造はインダス平原では所々にある隆起部や沈降部を除くと、一般に水平か緩い傾斜で西方にかたむいており、中軸帯に近づくにつれて褶曲が顕著になる。

インダス平原の西側に南北に伸びる山地は植生に乏しく、衛星画像でも地質構造が鮮明に把握できる褶曲山地で、東側の堆積岩の褶曲帯を北からスレイマン褶曲帯、シビ・トラフ、キルタル褶曲帯と呼ぶ。その西側にオフィオライト帯がワジリスタンから、クエッタを経てカラチ西方まで続き、縫合帯とも呼ぶ。これらの褶曲帯と縫合帯を合わせて中軸帯と呼んでいる。さらにその西側には、インド大陸とユーラシア大陸あるいはアフガン・ブロックと

の衝突境界を覆って、フリッシュ堆積物が分布し、西縁はチャマン断層やオルナック・ナル断層で切られている。

中軸帯の堆積岩は一般に下部三畳系から始新統まで途中ジュラ系上部に短い不整合を挟むが、連続して堆積した。但し、キルタール褶曲帯ではジュラ系上部から暁新統まで堆積がなかった部分がある。また、漸新統から鮮新統まではやはり連続して堆積が行われたが、地域によっては中新統を欠く場合もある。これらはインド大陸北西縁の大陸棚に堆積し、衝突によって著しい褶曲や断層、衝上断層を生じたものである。クエッタ南方のシビ・トラフやソルトレンジ西方のバンヌー・トラフは、衝突のさいの突起、シntaxisを示している。

オフィオライト帯については、中ほか(本特集)によるムスリンバー地域の詳細な報告があるので、参照してほしい。中軸帯のオフィオライトに共通しているのは、超塩基性及び塩基性の深成岩・玄武岩・ドレライト岩脈群など海洋底の拡大軸で形成された岩石のブロックや、石灰岩・砕屑岩・チャートなどの海成堆積岩などの下位の層準の岩石をブロックとして含むメランジをなしているのが特徴である。

オフィオライト帯の西側から北側にかけて分布するフリッシュ帯は大陸の縫合帯の上に始新世から更新世にかけて堆積したもので、下部は海成であるが上部は浅海性から一部は陸成の堆積物に変わっている。チャマン断層の東側のコジャック帯では密な覆瓦構造を示し、チャマン断層に平行な走向移動断層に富むが、北部のピシン帯に向かうに従って褶曲やナッベ構造に富むようになる。

5) パキスタン西南部:チャガイーラスコー帯とマクラン・フリッシュ帯

チャマン断層の西側にはチャガイ火山弧あるいは島弧と呼ばれる南に凸の東西に伸びた特徴的な地域がある。後期白亜紀にチャガイ及びラスコーの二つの地域で安山岩質の火山活動を伴う海成層の堆積と花崗岩類の貫入が、中期暁新世まで続き、この間に火成活動の盛んな地域は隆起して陸化した。その南側には始新世から漸新世にかけて浅海性の石灰岩が堆積した。さらにその南側のミルジャワからラスコーより南の地域には、後期白亜紀から

漸新世まで引続いてフリッシュ堆積物が形成された。

この地域全体は早期中新世以降にその大部分が隆起・陸化した。更新世にいたって火成岩地域を除いて浅海性あるいは陸成の堆積物に覆われた。火成岩地域では陸上でパキスタン西縁からイランにかけて火山活動が起こった。チャマン断層の活動は中期ないし後期中新世に始まり、400-500kmの左横ずれを生じ、北方の延長はアフガニスタンの首都カブールの西を通ってさらに北に延びている。

チャガイーラスコー帯は後期白亜紀にインド・プレートの西縁、あるいはアラビア・プレートの東縁が、ユーラシア大陸の南縁に衝突していたアフガン・ブロックに対して沈み込みを始め、大陸の前縁に火山弧を形成、早期中新世には陸化し、この時期と鮮新世に火山活動を生じた。

チャガイーラスコー帯の南側のマクラン地域は、漸新世から鮮新世まで連続して堆積したフリッシュ堆積物からなる。詳細に観察すると漸新世から中期中新世にかけて形成された海洋底の堆積物、および中新世の海溝あるいは海溝斜面の堆積物が北側へ付加された付加プリズム、さらに後期中新世以降に大陸棚から海岸線にかけての堆積物などが識別される。

マクラン・フリッシュ帯をもたらしたプレート境界はチャガイーラスコー帯をつくった境界とは別のもの、それより南方で中新世に活発に沈み込みを始めた境界と考えられている。

マクラン地域のフリッシュ堆積物と、チャマン断層やナル・オルナック断層の東側のフリッシュ堆積物は、チャマン断層がトランスフォーム断層として活動を始めるまでは、おそらく一連の北側の大陸から供給された堆積物であったと思われるが、堆積が続いている間に東側が北方へずれていった結果、マクラン地域の東西性の構造は全て東側が北へ引きずられる構造となった。

おわりに

パキスタンの地質に関する日本の研究者の貢献についても触れておかねばならない。その最初は京都大学が1960年代に送ったカラコルム山地理学術

調査隊で、地質学分野として松下・藤田らがコヒスタン・パソリスを中心に調査を行った。次は京都大学を中心とする文部省海外学術調査としてのヒマラヤ前縁地帯中・古生界境界の地質学古生物学的調査で、1969年および1972-73年の2回にわたってソルトレンジ地域で、ペルム-三畳系の境界に関する層序・古生物学的調査を行った。

一方、中軸帯に関しては1970年代から80年代にかけて、広島大学を中心とした文部省海外学術調査によって、インド-ユーラシア・プレート衝突境界における地質構造および堆積学的研究が行われた。この調査ではオフィオライト帯の解析の結果、上部ジュラ系ないし下部白亜系のラジオリアによる年代を初めて明らかにしたり、メランジ帯の中にインド大陸の北縁に三畳紀に生じたトラフに堆積した岩石が含まれることを示した。

パキスタン北部のコヒスタン地域においては、1987-90年にかけて工業技術院のITITプロジェクト「パキスタン・コリジョン帯の地質・鉱物資源の研究」が、パキスタンと我が国の地質調査所の間で共同研究として実施された。これは両調査所の研究者が共同で野外調査及び室内研究を行うもので、研究成果の一部は同名の論文集として工業技術院から出版されている。

また、1991-92年に東京大学の大学院生山本啓司が、博士論文の対象として、ガブロンライト、角閃岩および超塩基性岩の変成作用を研究し、コヒスタン島弧の基盤がインド大陸との衝突によって、深部に押し込まれ、その後押し上げられて地表に露出するにいたる構造運動を論じた。

1991年に開始された国際協力事業団による地質科学研究所プロジェクトに長期および短期専門家として参加した研究者は、パキスタン地質調査所の研究者と協力して、コヒスタン地域、ハザラ地域、ソルトレンジ地域、中軸帯のムスリムバー地域などで地質調査や鉱床探査、さらには古地磁気・岩石

磁気の調査研究を行い、その成果を地質科学研究所所内報告、所外向け報告(GEOLOGICA)および地質調査所月報などに投稿した。その一部が本特集に紹介されている。

文 献

- Bakr, A. and Jackson, R.O. (1964) : Geological Map of Pakistan, scale 1:2,000,000. Geological Survey of Pakistan.
- Bender, F.K. and Raza, H.A. eds. (1995) : Geology of Pakistan. Beit. zur Region. Geol. der Erde, Bd. 25, Gebruder Borntraeger · Berlin · Stuttgart, 414pp.
- Farah, A. and DeJong, K.A. eds. (1979) : Geodynamics of Pakistan. Geol. Surv. Pakistan, 361pp.
- Gee, E.R. (1980) : Pakistan Geological Salt Range Series : Directorate of Overseas Surveys, United Kingdom, for the Government of Pakistan and Geological Survey of Pakistan, 6 sheets, scale 1:50,000.
- Geological Survey of Japan (1997) : Research on Geology and Mineral Resources of the Collision Zone in Pakistan, Report of International Research and Development Cooperation, ITIT Projects No.87-1-2, 121p.
- Hunting Survey Corporation Ltd. (1960) : Reconnaissance Geology of Part of West Pakistan. (Colombo Plan Cooperative Project) Canada Government, Toronto.
- Kazmi, A.H. and Raza, R.A. (1982) : Tectonic Map of Pakistan, scale 1:2,000,000. Geological Survey of Pakistan.
- Lawrence, L., Malinconico, Jr. and Lillie, R.J. (1989) : Tectonics of the Western Himalayas. Geol. Soc. Am. Spec. Paper 232, 320pp.
- Qureshi, M.J., Tariq, M.A. and Abid, Q.C. (1993) : Geological Map of Pakistan, scale 1:1,000,000, Geological Survey of Pakistan.
- Searle, M.P. (1991) : Geological Map of the Central Karakoram Mountains, scale 1:250,000. In Geology and Tectonics of the Karakoram Mountains. 358pp, J. Wiley & Sons, Chichester, UK.
- Searle, M.P. and Khan, M.A. eds. (1994) : Geological Map of North Pakistan and Adjacent Areas of Northern Ladakh and Western Tibet, scale 1:650,000.
- Sillitoe, R.H. (1978) : Metallogenic evolution of a collisional mountain belt in Pakistan : a preliminary analysis. Jour. Geol. Soc. London, 135, 377-387.
- Treloar, P.J. and Searle, M.P. eds. (1993) : Himalayan Tectonics. Geol. Soc. London, Spec. Publ., 74, 630pp.
- Zanchi, A. and Gaetani, M. (1994) : Geological Map of the North Karakoram Terrain from the Chapursan Valley to the Shimshal Pass, scale 1:150,000. Riv. Italia Paleont. Strat., v.100.
- SHIRAHASE Teruo and KUBO Kazuya (1998) : Outline of the Geology of Pakistan.

< 受付 : 1998年4月2日 >