

ソルトレンジのペルム紀/トリアス紀境界研究の紹介

中 孝仁¹⁾・石賀裕明²⁾・道前香緒里³⁾・Shehzad Hassan⁴⁾

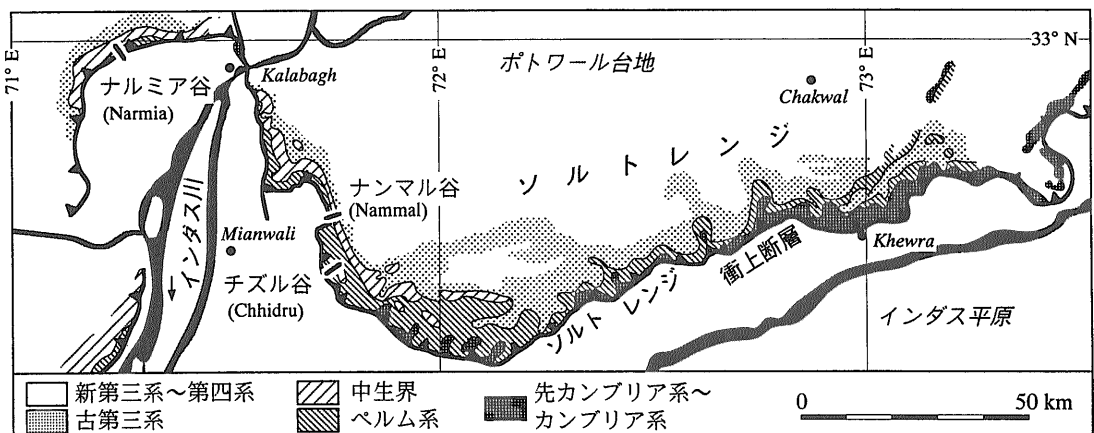
1. はじめに

小論では、私たちがパキスタン地質調査所地質科学研究所のプロジェクトの一環として実施した野外調査を基に、ソルトレンジのペルム紀/トリアス紀境界(以下、P/T境界と略)と境界研究の現状、および私たちの研究成果の一端を紹介する。

筆者の一人中は、大学学部時代、“ソルトレンジは野外地質博物館である”と題する地史学の講義を受けた。講義で紹介された色とりどりの地層の見事な積み重なりを示す露頭写真や素晴らしい化石の実物標本は、まさに“野外地質博物館”だと大変感動した記憶がある。ソルトレンジがそのように称されるのは、その素晴らしい露頭条件だけでなく、古生代以降で最も大きな生物絶滅が認められるP/T境界を含む地層が観察できることと、そしてこの境界について連続と続けられてきた膨大な研究の成果によるところが大きい。

2. ソルトレンジの地形・地質概説

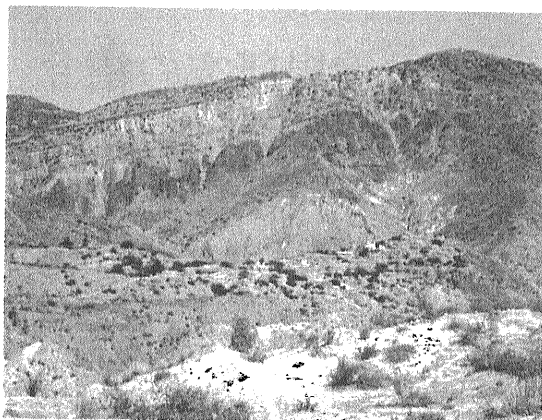
ソルトレンジ(Salt Range)は、パキスタンのほぼ中央にあり、東西方向に約200kmの長さをもつ山脈である(第1図)。この名称は、先カンブリア系とカンブリア系の境界付近に存在する岩塩層に由来する。岩塩は現在もキョーラ(Khwera)付近で盛んに採掘されていて、世界第2位の産出量を誇る(第2図)。山脈は、地形図では南に凸の弧状を呈する(第1図)。南北断面では、南斜面は急でその南部に広がるインダス平原部とは最大約1,000mの比高がある。北斜面は緩やかで、ポトワール台地につながる。山脈南麓縁には北に傾斜する活断層(ソルトレンジ衝上断層)があり、北部の地塊が南部のインダス平原部に押しつぶせている(Yeats *et al.*,1984; Baker *et al.*,1988)。このことは、アジア大陸とインド亜大陸の衝突に伴う変形が、現在もこの地で進行中であることを示し、山脈形態もこの



第1図 ソルトレンジの地質概略図(Qureshi *et al.*, 1993を簡略化)。

- 1) 地質調査所 地質部(科学技術特別研究員)
- 2) 島根大学 総合理工学部
- 3) 大阪市立大学 理学部
- 4) パキスタン地質調査所 地質科学研究所

キーワード: ソルトレンジ, パキスタン, ペルム紀/トリアス紀境界, 石灰岩, 泥岩, 海水準変動, 化学分析



第2図 キョーラ (Khewra) 付近の先カンブリア系〜カンブリア系。地上には露出しないが、崖の中央部の灰色部 (実際は赤色〜赤暗色) より下位層準に岩塩層が存在し、坑内堀で盛んに採掘されている。

変動に起因する。

山脈には、先カンブリア系から始新統までの、インド亜大陸 (Gondwana 大陸) 上または大陸棚上に堆積した、主に石灰岩類から成る堆積岩が露出する (第1図)。ただし、中生界は山脈西部にのみ分布しており、オルドビス系から石炭系の欠如など数層準に不整合が存在する。山脈部は厳しい乾燥気候のため植生の乏しい全山露頭状態であり、また、地層が断層や褶曲などの変形をほとんど被っていないため、層序学的・古生物学的研究を行うのに最適である。首都のイスラマバードから車で4-5時間で山脈各地に到達することができ、治安も安定しているため、パキスタンで国際的な学会が開かれるときは必ず巡検地に選ばれる。なお、パキスタン地質調査所から山脈全体をカバーする5万分の1地質図幅が公表されている (Gee, 1981)。

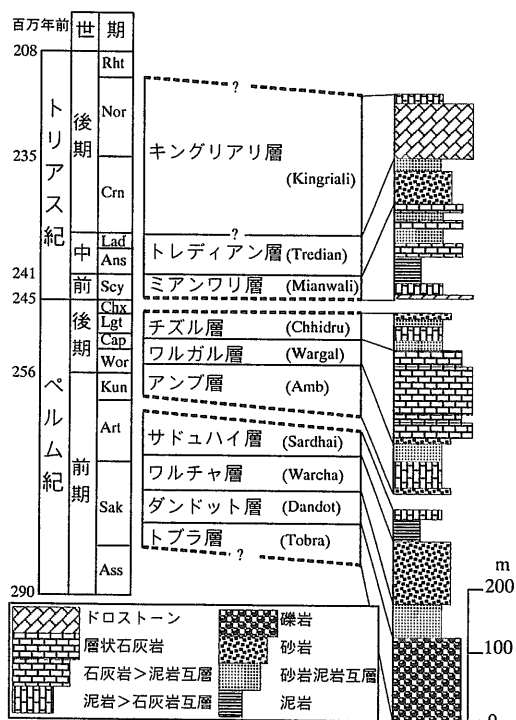
3. ソルトレンジのP/T境界研究

ソルトレンジには山脈を横切るいくつかの深い谷があり、地層が好露出をみせるそれらの谷においてP/T境界研究は進められてきた (第1図)。私たちもその中で代表的な3つの谷、チズル谷 (第4図)・ナンマル谷 (第5図)・ナルミア谷 (第6図) を、1994年9月と1995年2月にそれぞれ約2週間ずつ訪れた。

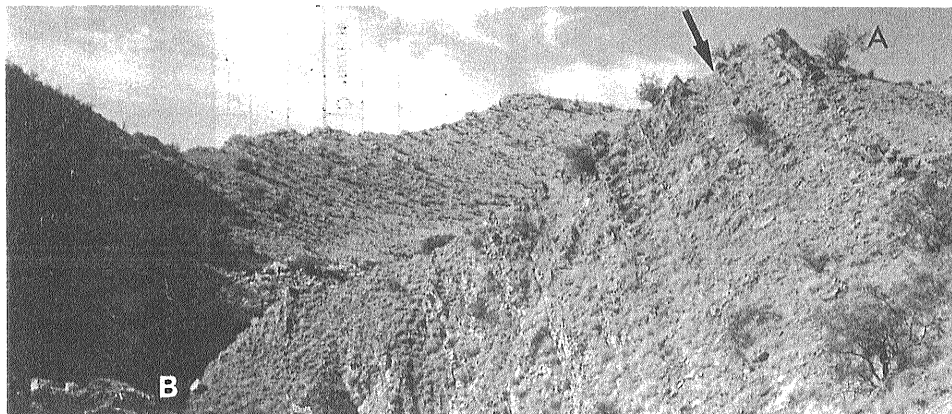
3.1 P/T境界研究史

P/T境界は、境界付近で海棲生物の大量絶滅が生じたことから、数ある地質境界の中でも地質学者から最も注目を集める境界となっている。浅海性堆積岩類におけるP/T境界付近の層序と生物群の変遷に関する研究は、テチス地域 (第7図: テチス海浅海成堆積岩類分布域、南アルプスから中国にいたる地域) において詳しく検討されてきたが、ソルトレンジはその中で最も著名なフィールドの1つである (Erwin, 1996)。

研究は、1800年代後半から開始され (Wyne, 1878; Waagen, 1879 など)、1980年代半ばまでには詳細な岩相層序と化石層序が確立された (Schindewolf, 1954; Kummel and Teichert, 1970 など)。特に、中沢圭二京都大学名誉教授を中心とするPakistani - Japanese Research Group (以下PJRGと略、1985)の研究は精緻を極め、現在に至るまでこの地の岩相・化石層序のスタンダードとなっている。1980年代後半からは、P/T境界そのもの



第3図 ソルトレンジのペルム系とトリアス系の岩相柱状略図 (Shah, 1977; Fatmi, 1977; PJRG, 1985を基に編図)。絶対年代と地質年代の期の略号はHarland et al. (1990)に基づく。



第4図 チズル谷におけるP/T境界(矢印で示す)。矢印からBまでの部分がチズル層で、矢印より右側(上位)がミアンワリ層。この写真は、Schindewolf(1954)とPJRG(1985)に掲載されている写真とほぼ同じ場所から1995年2月に撮影された。驚くべき事に、露頭の形状はもちろん、Aの木(高さ約3m)とBの転石もそれぞれに掲載されている写真とほとんど変化がない。

のの層序学的・古生物学的研究から、地球化学・古地磁気学・堆積学的研究手法を用いた当時の古地理・古気候復元の研究へと研究の裾野が広がり、生物絶滅をもたらした環境変化の解説が試みられている。

3.2 ペルム系～トリアス系の岩相層序

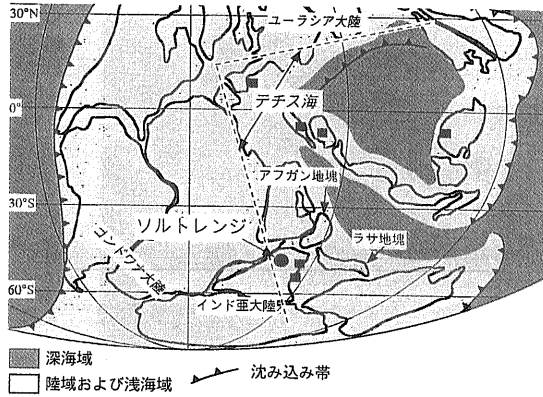
下部ペルム系は礫岩・砂岩などの大陸性堆積物から構成され、冷帯性の化石を含む。上部ペルム系と下部トリアス系は主に石灰岩などの浅海～半深海性堆積物から構成され、温帯性の化石が豊富に産出する。中～上部トリアス系は砂岩やドロストーン(苦灰岩、苦灰石を50%以上含む炭酸塩岩)などの大陸性～極浅海性堆積物からなる。層厚はペルム系全体で約600m、トリアス系で約300mである



第5図 ナンマル谷の入り口での1995年2月の野外調査の記念撮影。左方の崖はワルガル層の石灰岩で写真奥に向けて約20-30度で傾斜。写真奥の崖には、トリアス系から古第三系の地層が累重する。



第6図 ナルミア谷におけるP/T境界(Aで示す層準)。Aより左がチズル層。BとCの層準はそれぞれ、ミアンワリ層カスワイ部層の下部/中部境界、中部/上部境界を示す。ナルミア谷では、ナンマル谷に比べカスワイ部層下部が厚く、P/T境界は直線的である。



第7図 後期ペルム紀の古地理図 (Scotese and Langford, 1995を簡略化し加筆)。テチス地域における主要なP/T境界検討地(中沢, 1993)を黒四角で示す。2本の破線で挟まれた地域はテチス海のおおよその範囲を示す。

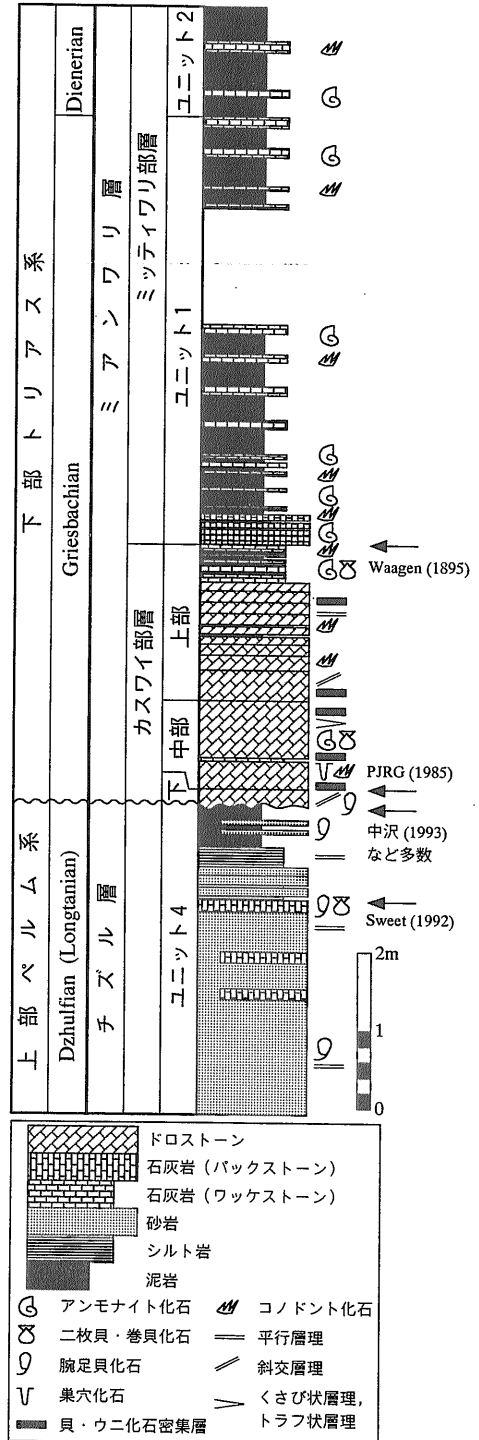
(第3図)。下部ペルム系と上部ペルム系, および上部ペルム系と下部トリアス系の境界は平行不整合である。すなわち, ソルトレンジではP/T境界は平行不整合である(中沢, 1993; Wignall and Hallam, 1993; Wardlaw and Pogue, 1995)。

上部ペルム系は下位より, ワルガル (Wargal) 層とチズル (Chhidru) 層に区分され, それぞれ6つ, 4つのユニットに細分される(PJRG, 1985; 第13図)。ワルガル層は主に層状石灰岩, チズル層は主に層状石灰質砂岩から構成される。なお, この地域の石灰岩は, ペルム系, トリアス系ともに, 生物が碎組みをした生物礁石灰岩 (biolithite) はほとんど認められず, その多くは生物破片を含む層状のワッケストーン (wackestone)・パッケストーン (packstone) からなる点で, 同時代の日本の秋吉石灰岩などとは異なる(PJRG, 1985; 沖村, 1995)。

下部トリアス系はミアンワリ (Mianwali) 層と呼ばれ, ミアンワリ層はさらに下位より, 主にドロストーンから成るカスワイ (Kathwai) 部層, 砂岩泥岩が卓越するミッティワリ (Mittiwali) 部層, 主にドロストーンから構成されるナルミア (Narmia) 部層に3分される(PJRG, 1985)。カスワイ部層とミッティワリ部層はさらに3つ, 5つのユニットにそれぞれ細分される(PJRG, 1985; 第13図)。

3.3 P/T境界

現在までほとんどの研究者たちは, P/T境界を



第8図 ナンマル谷におけるP/T境界を挟む地層の地質柱状図 (PJRG, 1985とWignall and Hallam, 1993を基に著者らの資料を加えて編図)。柱状図右の矢印はそれぞれの著者によって提唱されたP/T境界層準を示す。

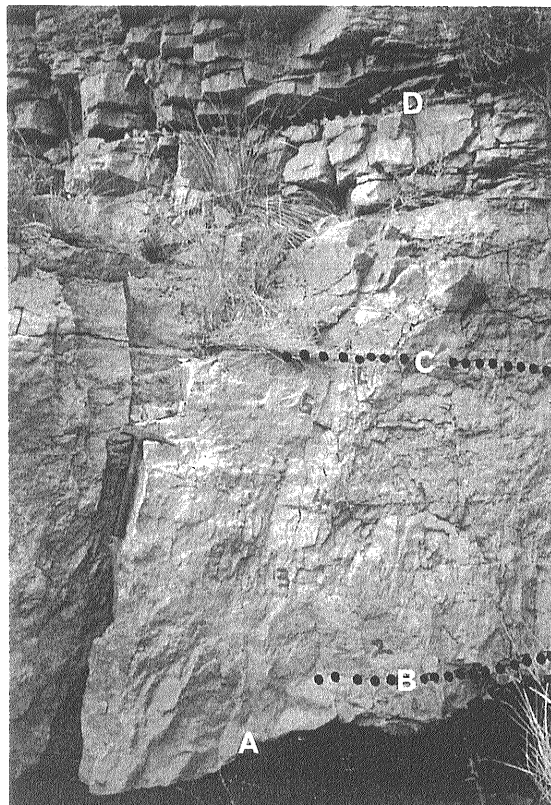


第9図 ナンマル谷におけるP/T境界(矢印で示す)直下のチズル層。境界直下には厚さ約30cmの黒色泥岩が存在する。泥岩には2枚の砂岩薄層レンズが挟まれる。泥岩は写真上方に見えるミアンワリ層カスワイ部層のドロストーンより軟らかいため、露頭は大きくえぐられている。

挟む地層に関してmm単位の検討を行ってきた。そして、主に古生物学的資料を基に、P/T境界をどこに置くのかについて4つの異なった意見があった(第8図)。しかし、生層序・岩相層序・地球化学的検討の結果などの総合的判断から、現在では顕著な岩相境界であるチズル層とミアンワリ層の境界がP/T境界とみなされている(詳しくは中沢, 1993参照)。

ソルトレンジの各谷におけるP/T境界を挟む地層の岩相・層厚は異なる。このことは、これらの地層が浅海域で堆積したため、堆積環境のわずかの違いが如実に反映されたからである。一般的にチズル谷からナンマル谷を経てナルミア谷の方向(南東から北西方向)に向かい、細粒化・薄層化する(PJRG, 1985; Wignall and Hallam, 1993)。ただし、化石群集と堆積相組み合わせから、それぞれの谷の各地層は確実に対比されている。

上部ペルム系のチズル層は腕足類を多産し、黒色泥岩中には化石密集層も挟まれる。おそらく干潟のような環境が広く発達していたのであろう。最上部のユニット4は砂岩を主とし泥岩層を挟む。岩相変化をみると下位のワルガル層が成層した石灰岩を主体とするのに対して、チズル層では砂岩・泥岩などの碎屑岩が多くなり、明らかにP/T境界に向かって海退が生じたと推定できる(第3, 13図)。



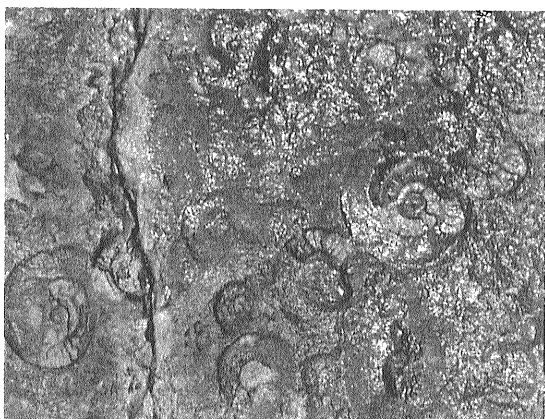
第10図 ナンマル谷におけるミアンワリ層カスワイ部層。A, B, Cの層準はそれぞれ、P/T境界、カスワイ部層の下部/中部境界、中部/上部境界を示す。Dの層準はカスワイ部層上部中にあるドロストーン(下位)と石灰岩(上位)の境界。P/T境界が波打っていること、すなわち浸食面であることに注意。第9図はこの写真の下方で黒く陰になっている部分を拡大したもの。

P/T境界、すなわち、チズル層最上部のユニット4とミアンワリ層カスワイ部層下部のドロストーンの岩相境界は、チズル谷、ナルミア谷ではシャープであり、岩相は漸移しない(第6図)。境界直下の地層はチズル谷では砂岩、ナルミア谷では厚さ約30cmの灰色シルト岩である。しかし、ナンマル谷ではドロストーン基底が、境界直下の厚さ約30cmの黒色泥岩を削り込んでいる(第9, 10図)。古生物学的検討からは、境界において長興階(Changxingian)が欠如しているとされている(中沢, 1993など)。つまり、境界は約200万年分の欠如を含む平行不整合である。

境界直上のミアンワリ層カスワイ部層は厚さわず



第11図 ナンマル谷におけるミアンワリ層カスワイ部層とミッティワリ部層の境界(矢印で示す)。この境界はアンモナイト化石帯の境界(下位の *Ophiceras* 帯と上位の *Gyronites* 帯)で、岩相上では石灰岩層中にある。むしろ顕著な岩相境界は、写真上方から1/3程度の部分にある石灰岩層と泥岩石灰岩互層の境界。



第12図 ナンマル谷、カスワイ部層上部の石灰岩層上面にみられる *Ophiceras*(アンモナイト化石)密集部。右中央のアンモナイト化石の直径が約5cm。

か数メートルであるが、含まれる化石種から下部・中部・上部に細区分される(第8図)。下部と中部は岩相的には両者ともパックストーンを源岩とするドロストーンからなる。上部は、下半部がドロストーンから、上半部が石灰岩からなる。カスワイ部層全体として、下位から上位に向かい成層構造が発達し、かつ薄層化する(第8, 10図)。岩質もパックストーンから海緑石を含むワッケストーンへと変化する。さらに上位のミッティワリ部層に入ると、泥岩が卓越し、石灰岩は薄層として挟まれるにすぎなくな

る(第11図)。カスワイ部層中・上部とミッティワリ部層の石灰岩には大量のアンモナイト化石が含まれる(第12図)。このようにトリアス紀に入った直後は碎屑物の供給が少なく、炭酸塩岩の生成が行われており、陸水の影響を受けてはいても生態系が回復していると言える。その後、海水準が段階的に上昇し、豊かな生態系が展開したと予想される。

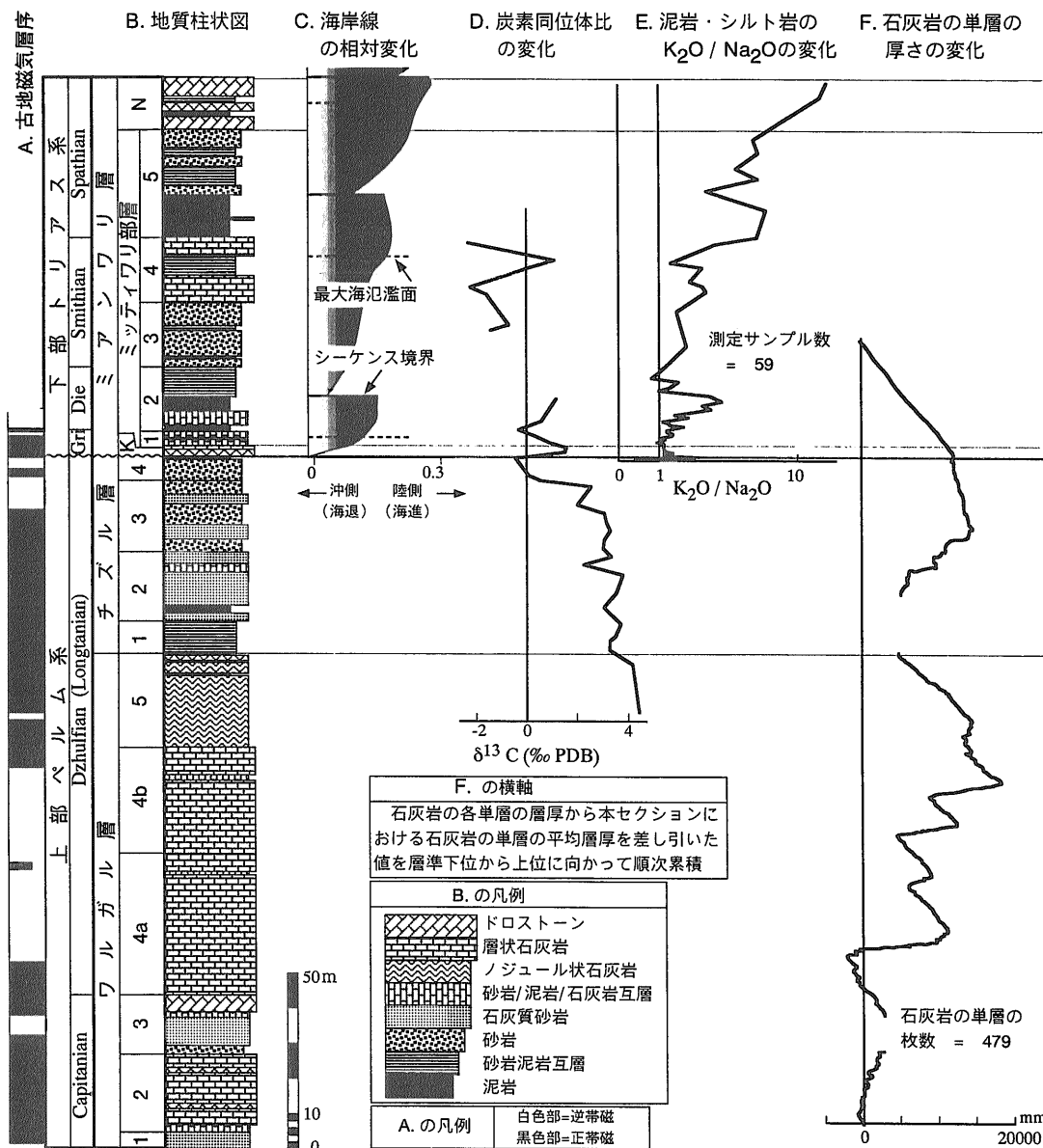
カスワイ部層下部は、ペルム紀型とトリアス紀型の化石が共産し、“混合化石層”とも呼ばれる(中沢, 1993)。この“混合化石層”の取り扱いをめぐる、前述のとおり、P/T境界をどこに置くのか様々な意見があった。“混合化石層”の存在は、P/T境界における生物の大量絶滅が短期間で生じたのではなく、数100万年をかけてゆっくりと進行したことを物語る。

3.4 P/T境界研究の現状

PJRG (1985)は、上部ペルム系と下部トリアス系の石灰岩や砂岩の単層毎に番号をつけて、層厚・岩相・堆積構造やフズリナ・腕足貝・コノドントなどの化石層準を詳細に柱状図に記載した。彼らの野外調査は1976-79年に行われたが、私たちが野外調査を実施した1994-95年においても、彼らが黄色のペンキで露頭につけた単層毎の番号がいたるところに残されており、野外で層準を決定するのに役立った。また、第4図に示されているようにソルトレンジでは自然的・人為的な露頭変化が全くといってよいほど進行していないことも、先人達の研究成果を参照する際に有効であった。このような好条件に支えられて、1980年代後半からは、PJRG (1985)の岩相層序を基礎にした各種の検討がいくつかの谷において行われている。第13図ではそれらの検討の内、ナンマル谷において行われたものを集大成した。

上部ペルム系の古地磁気層序の検討は、Haag and Heller (1991)によって行われた(第13図A)。中国における検討とも合わせ、逆帯磁から正帯磁への変化層準がP/T境界と一致するとされた。なお、この古地磁気層序は現在、世界のスタンダードのひとつである。

シーケンス層序学(注)的検討とその結果に基づいた海水準変動に関する研究は、上部ペルム系についてはWardlaw and Pogue (1995)が、下部トリ



第13図 ナンマル谷における上部ペルム系と下部トリアス系の地質現象総括図。下部トリアス系 (Scythian) は4分または3分されるが、3分する場合はディエネリ統 (Die : Dienerian) とスミス統 (Smithian) を合わせてナンマル統 (ナンマル谷を模式地とする; Nammalian) と呼ぶ。Gri : Griesbachian, K : カスワイ部層, N : ナルミア部層。A~Fの出典は以下のとおり。A : Haag and Heller (1991)。ただし、下部トリアス系の部分は同著者による中国でのデータ。B : PJRG (1985) を基に著者らの資料を加えて編図。C : Haq *et al.* (1987, 1988)。D : Baud *et al.* (1989, 1996)。E : 著者らの資料 (Hassan *et al.*, in press)。F : 著者らの未公表資料。

アス系については Haq *et al.* (1988) が行った (第13図C)。いずれも PJRG (1985) の岩相層序をシーケンス層序学的に解析し直したものである。上部ペルム系ではワルガル層とチズル層の境界とチズル層と下部トリアス系の境界がシーケンス境界とみなされ、何回かの振幅の小さな海水準変動を経な

がら、全体としてペルム紀末に向かって海退が進むと解析された。下部トリアス系では3つのシーケンス境界が認められ (ただしシーケンス境界と PJRG, 1985 の地層境界は合致しない, 第13図C)、全体として海進傾向が見いだされている。なお、Haq *et al.* (1987) は中生代と新生代の相対的海水準変動

曲線を描き、その変動曲線は長らく世界のスタンダードとして使用されているが、彼らの曲線の前期トリアス紀の部分は、ナンマル谷のデータに基づいている。

P/T境界を挟む地層の炭素同位対比の検討は、Baud *et al.* (1989, 1996)によって行われた(第13図D)。P/T境界直下では急激な負側へのシフト(負の異常)が認められた。同様な負の異常はテチス地域各地のP/T境界で確認されており(Grossman, 1994など)、この地球化学事変を解釈するために、海退に伴う生物生産量の急激な減少、または有機炭素の地層中からの急激な放出などの様々な説が出されている(磯崎, 1994; Erwin, 1995など)。

第13図Eには、私たちが検討した化学分析結果(Hassan *et al.*, in press)の一部を示した。泥岩や砂岩の K_2O/Na_2O の値は、一般に碎屑物の供給地(後背地)の風化度を表すとみなされている(Roser and Korsch, 1986)。値が大きいほど後背地ではより風化が進行している、すなわち成熟した安定大陸地域である、と考えられる。私たちの結果では、下部トリアス系において下位から上位に向かい K_2O/Na_2O 値の漸進的な増加が認められる。後期ペルム紀からトリアス紀にかけては Gondwana 大陸の分裂期であり、インド亜大陸からラサブロックやアフガングブロックが分裂した時期に当たる(第7図: Scotese and Langford, 1995; Metcalfe, 1996など)。しかし、少なくとも前期トリアス紀のインド亜大陸北部では、これらブロックの分裂の影響はあまり大きくなく、むしろインド亜大陸の成熟度が徐々に上昇する傾向にあったらしい。

第13図Fには、私たちがmm単位で測定した石灰岩の単層の厚さの変化を示した。この図で、縦軸は地層の層準であり、横軸には石灰岩の各単層の厚さから石灰岩単層の全測定枚数479層の平均層厚を差し引き、その値を上位に向かって累積したものを示している。このような図は“石賀ダイアグラム”と呼ばれ(Kakuwa, 1996)、日本のペルム系やトリアス系の層状チャートに記録された生物生産量の変化の解析に使われる(Ishiga, 1994; 道前・石賀, 1995など)。層状チャートは主に放散虫殻から構成され、陸源碎屑物をほとんど含まないため、チャート単層の層厚の変化は放散虫の生産量の変

化を反映するとみなされている(道前・石賀, 1995)。つまり、チャート単層の厚さが増大する傾向は、放散虫生産量の増大を反映する。

本地域の石灰岩の場合、層状チャートとはその堆積環境や堆積機構が大きく異なるため、単純にこの図が石灰質の殻を持った生物の生産量を表しているとは言いがたい。しかし、前述のとおり、この地域の石灰岩の多くは生物破片を含む層状のワッケストーン・パッケストーンからなることを考慮すると、単層の厚さが厚くなることは、生物生産量の増大、または石灰岩を堆積させる空間の増大(相対的海水準の上昇)とみなすことが可能かもしれない。したがって、この図で右方にシフトする部分は、生物生産量の増大か相対的海水準の上昇を表すと期待される。なお、この図の層厚変化曲線は、後期ペルム紀から前期トリアス紀の海水準変動曲線(Ross and Ross, 1995)と、チズル層最上部以降を除けば良く一致している。また、層厚変化曲線の傾きの変換点は、古地磁気層序(第13図A)の逆帯磁/正帯磁境界とおおむね一致しており、地球規模の変動が互いに関連しあっていることを示唆している。

4. おわりに

1993年に出版されたP/T境界に関する教科書(Erwin, 1993)には、主要な研究論文が500編以上引用されている。もちろん、現在も毎年膨大な研究論文が発表され続けている。その大部分が、ソルトレンジで代表される浅海性堆積岩類分布域における研究である。ただ、浅海性堆積岩類分布域では、ソルトレンジのようにP/T境界そのものが不整合であったり、地域的な堆積環境の変化や構造運動の影響が地層に鋭敏に記録され、世界的な環境変化の影響が薄まってしまうという弱点がある。そこで最近では、地域的環境変化の影響が少ない遠洋性堆積物中のP/T境界に関する研究も行われるようになってきた。それらの成果の一部は、地質調査所月報第44巻(1993)7, 9, 12号に“遠洋性堆積物中のP/T境界に関する研究”として特集されているので参照されたい。しかし、前述の弱点は地域的な環境変化を詳細に解析でき得るという利点でもあり、ソルトレンジの各谷における、従来の研究に

よる詳細な岩相層序を基礎としたP/T境界研究の進展が今後も期待される。

謝辞：1995年の野外調査では、中沢圭二京都大学名誉教授、Ibrul-ul Hasan Khan氏（パキスタン地質調査所地質科学研究所）、小阪優子さん（当時島根大）と共に調査を行った。特に、中沢名誉教授には、現地において様々なご教示を受け、また研究結果についてご討論いただいた。パキスタン地質調査所地質科学研究所の研究者やスタッフの皆様には野外調査や室内作業に関し様々な便宜を図っていただいた。小論で用いた地球化学分析結果は、著者の一人シャザード ハッサンの島根大学大学院修士論文研究の成果の一部である。分析には島根大学の教官の皆様にご指導・ご助言をいただいた。小論の一部を地学団体研究会第50回総会シンポジウムで発表した際（石賀，1996；中ほか，1996）、参加者から有意義なご討論をしていただいた。以上の方々に深く感謝いたします。

注) シーケンス層序学とは、地層を時間・空間的に解析し、地層の成因を相対的の海水準変動との関わりでとらえて解析する方法である。詳しくは斎藤ほか(1995)参照。

文 献

- Baker, D. M., Lillie, R. J., Yeats, R. S., Johnson, G. D., Yousaf, M. and Zamin, A. S. H. (1988) : Development of the Himalayan frontal thrust zone: Salt Range, Pakistan. *Geology*, **16**, 3-7.
- Baud, A., Margaritz, M. and Holser, W. T. (1989) : Permian-Triassic of the Tethys: Carbon isotope studies. *Geologische Rundschau*, **78**, 649-677.
- Baud, A., Atudorei, V. and Sharp, Z. (1996) : Late Permian and Early Triassic evolution of the Northern Indian margin: carbon isotope and sequence stratigraphy. *Geodinamica Acta*, **9**, 57-77.
- 道前香緒里・石賀裕明(1995) : 層状チャートの堆積リズムからみたトリアス紀中世からジュラ紀古世の海水準変動。地質雑，**101**，354-366.
- Erwin, D. H. (1993) : *The great Paleozoic crisis*. The Columbia Univ. Press, 327p.
- Erwin, D. H. (1995) : The end-Permian mass extinction. In Scholle, P. A., Peryt, T. M. and Ulmer-Scholle, D. S. (eds.), *The Permian of Northern Pangea*, Vol. 1, 20-34, Springer-Verlag.
- Erwin, D. H. (1996) : Permian global bio-event. In Walliser, O. H. (ed.), *Global events and event stratigraphy*, 251-264, Springer-Verlag.
- Fatmi, A. N. (1977) : Mesozoic. In Shah, S. M. I. (ed.), *Stratigraphy of Pakistan*, Mem. Geol. Surv. Pakistan, **12**, 29-56.
- Gee, E. R. (1981) : *Pakistan Geological Map, Salt Range Series, Sheets 1 to 6*. Geol. Surv. Pakistan.
- Grossman, E. L. (1994) : The carbon and oxygen isotope record during the evolution of Pangea: Carboniferous to Triassic. In Klein, G. D. (ed.), *Pangea: Paleoclimate, tectonics, and sedimentation during accretion, zenith, and break-up of a supercontinent*, Geol. Soc. Amer., Spec. Paper, no.288, 207-228.
- Haag, M. and Heller, F. (1991) : Late Permian to Early Triassic magnetostratigraphy. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **107**, 42-54.
- Haq, B. U., Hardenbol, J. and Vail, P. R. (1987) : Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science*, **235**, 1156-1167.
- Haq, B. U., Hardenbol, J. and Vail, P. R. (1988) : Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change, In Wilgus, C. K., Hastings, B. S., Kendall, G. C. St. C., Posamentier, H., Ross, C. A. and Van Wagoner, J. C. (eds.), *Sea-level changes: an integrated approach*, Soc. Econ. Paleont. Mineral., 71-108.
- Harland, W. B., Armstrong, R. L., Cox, A. V., Craig, L. E., Smith, A. G. and Smith, D. G. (1990) : *A geologic time scale 1989*. Cambridge Univ. Press, 263p.
- Hassan, S., Ishiga, H., Roser, B., Dozen, K. and Naka, T. (in press) : Geochemistry of shales across the Permian-Triassic boundary in the Salt Range, Pakistan, and implications for provenance and the breakup of Gondwana. *Chem. Geol.*
- Ishiga, H. (1994) : Permian/Triassic boundary and carbon circulation in pelagic sediments of Southwest Japan. *Earth Sci. (Chikyu Kagaku)*, **48**, 285-297.
- 石賀裕明(1996) : ペルム/トリアス紀境界における環境の変遷。地団研第50回総会シンポジウム要旨集，129-131.
- 磯崎行雄(1994) : 大量絶滅テクトニクス。月刊地球号外，no.10，92-96.
- Kakuwa, Y. (1996) : Correlation between the bedded chert sequence of Southwest Japan and $\delta^{13}\text{C}$ excursion of carbonate sequence, and its significance to the Permian-Triassic mass extinction. *The Island Arc*, **5**, 194-202.
- Kummel, B. and Teichert, C. (1970) : Stratigraphy and paleontology of the Permian-Triassic boundary beds, Salt Range and Trans-Indus Ranges, West Pakistan. In Kummel, B. and Teichert, C. (eds.), *Stratigraphic boundary problems: Permian and Triassic of West Pakistan*, Dept. Geol., Univ. Kansas, Spec. Publ., no.4, 1-110.
- Metcalfe, I. (1996) : Pre-Cretaceous evolution of SE Asian terranes. In Hall, R. and Blundell, D. (eds.), *Tectonic evolution of Southeast Asia*, Geol. Soc. Spec. Publ., no.106, 97-122.
- 中 孝仁・シャザードハッサン・石賀裕明・道前香緒里(1996) : ソルトレンジでのP/T境界の紹介。地団研第50回総会シンポジウム要旨集，132-134.
- 中沢圭二(1993) : テチスのペルム・三畳系境界の層序と中・古生界境界。地調月報，**44**，425-445.
- 沖村雄二(1995) : 総論；生物源岩，特に石灰岩に記録された環境の変遷を読む。月刊地球，**17**，557-564.
- Pakistani-Japanese Research Group (1985) : Permian and Triassic Systems in the Salt Range and Surghar Range, Pakistan. In Nakazawa, K. and Dickinson, J. M. (eds.), *The Tethys - her paleogeography and paleobiogeography from Paleozoic to Mesozoic*, 221-312, Tokai Univ. Press.
- Qureshi, M. J., Tariq, M. A. and Abid, Q. Z. (1993) : *Geological map of Pakistan (Scale 1: 1,000,000)*, Geol. Surv. Pakistan.
- Roser, B. P. and Korsch, R. J. (1988) : Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant func-

- tion analysis of major element data. *Chem. Geol.*, **67**, 119-139.
- Ross, C. A. and Ross, R. P. (1995) : Permian sequence stratigraphy. In Scholle, P. A., Peryt, T. M. and Ulmer-Scholle, D. S. (eds.), *The Permian of Northern Pangea, Vol. 1*, 98-123, Springer-Verlag.
- 斎藤文紀・保柳康一・伊藤 慎(編) (1995) : シーケンス層序学, -新しい地層観を目指して-. 地質学論集, **45**, 249p.
- Schindewolf, O. H. (1954) : Über die Faunenwende vom Paläozoikum zum Mesozoikum. *Zeitsch. Deutsch. Geol. Gesel.*, **105**, 154-183.
- Scotese, C. R. and Langford, R. P. (1995) : Pangea and the paleogeography of the Permian. In Scholle, P. A., Peryt, T. M. and Ulmer-Scholle, D. S. (eds.), *The Permian of Northern Pangea, Vol. 1*, 3-19, Springer-Verlag.
- Shah, S. M. I. (1977) : Mesozoic. In Shah, S. M. I. (ed.), *Stratigraphy of Pakistan*, Mem. Geol. Surv. Pakistan, **12**, 5-29.
- Sweet, W. C. (1992) : A conodont-based high-resolution biostratigraphy for the Permo-Triassic boundary interval. In Sweet, W. C., Yang, Z., Dickins, J. M. and Hongfu, Y. (eds.), *Permo-Triassic events in the eastern Tethys*, 120-133, Cambridge Univ. Press.
- Waagen, W. (1879) : Salt Range fossils. I. Productus-limestone fossils. *Paleont. India*, Ser. 13 (1), 1-72.
- Waagen, W. (1895) : Salt Range fossils. II. Fossils from the Ceratite Formation. *Paleont. India*, Ser. 13 (2), 1-323.
- Wardlaw, B. R. and Pogue, K. R. (1995) : The Permian of Pakistan. In Scholle, P. A., Peryt, T. M. and Ulmer-Scholle, D. S. (eds.), *The Permian of Northern Pangea, Vol. 2*, 215-224, Springer-Verlag.
- Wignall, P. B. and Hallam, A. (1993) : Griesbachian (Earliest Triassic) palaeoenvironmental changes in the Salt Range, Pakistan and Southeast China and their bearing on the Permo-Triassic mass extinction. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Paleocol.*, **102**, 215-237.
- Wyne, A. B. (1878) : On the geology of the Salt Range in the Panjab. *Mem. Geol. Surv. India*, **5**, 313p.
- Yeats, R. S., Khan, S. H. and Akhtar, M. (1984) : Late Quaternary deformation of the Salt Range of Pakistan. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **95**, 958-966.
-
- NAKA Takahito, ISHIGA Hiroaki, DOZEN Kaori and HASSAN Shehzad (1998) : Introduction of the Permian / Triassic boundary in the Salt Range, Pakistan.
-

<受付: 1998年4月2日>

