

## テチスのペルム・三畳系境界の層序と中・古生界境界

中沢圭二\*

NAKAZAWA Keiji (1993) Stratigraphy of the Permian-Triassic transition and the Paleozoic/Mesozoic boundary. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol.44 (7), p.425-445, 12fig.

**Abstract:** To solve the Permian/Triassic boundary problems, the so-called mixed-fauna beds or transition beds in representative places of Tethys are examined, for example, the Tesero Horizon of South Alps, Unit E<sub>1</sub> of the Khunamuh Formation in Kashmir, the *Otoceras concavum* horizon of Nepal, the *Otoceras latilobatum* bed of South Tibet, and the mixed-fauna beds of the Chinglung Formation in Yangtze platform. The basal part of the Lower Triassic in Abadeh, Central Iran and the Lower Kathwai Unit of the Mianwali Formation in the Salt Range area, Pakistan are also considered. The base of the *Otoceras woodwardi* zone in the Himalaya is traditionally considered and generally accepted as the base of the Triassic, but several authors maintain the Permian age. Considering the coexisting fossils, such as, *Eumorphotis* spp., *Hypophiceras* spp., *Ophiceras* spp., *Vishnuites* sp., *Claraia stachei*, *Leptochondria minima*, etc., the *Otoceras* zone, at least, *woodwardi* or *boreale* zone is concluded to be younger than latest Permian Dorashamian or Changxingian. The *O. concavum* zone situating below *boreale* zone is referred to as being older than *woodwardi* zone but younger than Dorashamian, because *Enantio-treon* cf. *difforme* and *Claraia stachei*? are found in Greenland and *Isarcicella?* *parva* occurs characteristically in this zone in Tibet.

The Tesero Horizon and the lower part of the overlying Mazzin Member in the Alps and the lowermost part (basal shale and algal limestone) of the Lower Triassic in Abadeh are characterized by *I.?* *parva* without *isarcica* and are correlated with the Lower Griesbachian *Otoceras* zone. The lower part of the Tesero Horizon yielding Permian-type fossils and the basal shale bed in Iran are most probably referred to as *concavum* zone. The mixed-fauna bed 1 of the Chinglung Formation contains *Hypophiceras* spp., *Otoceras?* sp., *Peribositra* (= *Claraia* or *Pseudoclaraiia*) *baoquin-gensis*, *I.?* *parva*-*Neogondolella changxingensis* etc. in addition to Permian-type brachiopods. This bed is also correlated with *concavum* zone. Unit E<sub>1</sub> of the Khunamuh Formation is conformably overlain by *Otoceras woodwardi* bed (Unit E<sub>2</sub>), and the boundary is gradational, but the fossils contained are all Permian-type excepting *Claraia bioni*. The lower unit of the Kathwai Member in Pakistan is conformably covered by the middle unit which is considered as *Otoceras woodwardi* zone based on the conodont assemblage and *Ophiceras connectens* in it. The lithofacies change is gradational from lower to middle unit, and the Permian-type brachiopod assemblage of the lower unit is similar to that of the Tesero Horizon and mixed-fauna bed 1 of the Chinglung Formation, but no Triassic-type fossils could be confirmed. Unit E<sub>1</sub> and the lower Kathwai Unit are here referred to time-equivalent of *concavum* zone with some question. The correlation of transition beds is shown in Fig. 10.

\*京都大学名誉教授, 京都市北区小山下内河原町28-2.

Keywords : Permian/Triassic boundary, mixed-fauna bed, *Otoceras* zone, *parva* zone, Dorashamian, Griesbachian

The end of the Permian is marked by the so-called mass extinction of the Paleozoic biota. There are several different opinions concerning the Permian/Triassic boundary. The remarkable disappearance of the Permian fossils took place at the lower and upper boundaries of the mixed-fauna beds. The Permian-type fossils were still much more predominated over the Triassic-type ones in the mixed-fauna bed, and the upper boundary seems to be more reasonable than the lower one. However, the extinction rate is greater at the lower boundary than at the upper, and the lithostratigraphic boundary coincides with the lower boundary. Furthermore, the anomaly of Ir, REE and metal elements and a decrease of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  are observed just before the lower boundary of or within the mixed-fauna beds. Accordingly, the lower boundary of the mixed-fauna beds is here preferred as the Permian/Triassic boundary. This is defined as Dorashamian or Changxingian/Griesbachian boundary, namely, *Paratirolites* (or *Pleuronodoceras-Rotodiscoceras*)/*Otoceras concavum* (or *Hypophiceras* spp.) zone boundary and *Neogondolella changxingensis*/*Isarcicella? parva* zone boundary.

## 要 旨

古・中生界境界すなわちペルム・三畳系境界問題の解決には、境界付近のいわゆる混合化石層の検討が重要である。その例として南アルプスの Werfen 層基底の Tesero 層準、イランの境界付近の生層序、パキスタンの Salt Range の Kathwai 層、チベット南部の *Otoceras* 層、カシミールの *Khunamuh* 層下部、中国長興の混合化石層および北極地域の *Otoceras* 層を検討した。古典的にはヒマラヤの *Otoceras woodwardi* 層の基底がペルム/三畳系境界とされるが、これは北極地域の *O. concavum* 帯とその上の boreale 帯に対比されている。しかし、標準とされるテチス地域との対比については必ずしも意見が一致していない。最近の研究成果を考慮すると、woodwardi 帯は boreale 帯にのみ対比され、concavum 帯はその下位であると結論される。*Otoceras* 帯をペルム系に含める意見もあるが、共存するアンモナイト、二枚貝、コノドントなどを検討した結果、ペルム系最上部の Dorashamian や長興階より新しく、三畳系の *Ophiceras* 帯より古い。また、Tesero 層準の混合化石帯、イラン三畳系基底の境界頁岩層、中国の混合化石層 1、ネパールや南チベットの *Otoceras* 層基底部の混合化石層は *O. concavum* 帯に対比できる。Kathwai 層下部層や *Khunamuh* 層最下部の  $E_1$  層は、後者の *Claraia* を除き、すべてペルム紀型の化石を含むが、これは混合化石層のものと同様、かつ上の *Otoceras woodwardi* 層またはその相当層とは完全に整合的であるため、concavum 帯とみなし混合化石層に対比した。

ペルム紀の生物は混合化石層の下限で大部分消滅する。生き残った種類も極く小数を除いては、混合層の上限で絶滅する。混合化石層のなかではペルム紀の種類が、三畳紀のものよりずっと多い。しかし、絶滅率は下限の方が、

大きく、また岩相層序の境界とも一致する。Ir, REE や金属元素の含有量  $\delta^{13}\text{C}$  や  $\delta^{18}\text{O}$  の異常は混合層直下か混合層中に見られる。以上を総合して、混合化石層下限をペルム/三畳系境界とするのが適当と結論した。これは Dorashamian (Changxingian)/Griesbachian 境界、すなわち *Paratirolites* (*Pleuronodoceras-Rotodiscoceras*)/*Otoceras concavum* (*Hypophiceras* spp.) 境界あるいは *Neogondolella changxingensis*/*Isarcicella? parva* 境界である。

## 1. はじめに

中・古生界境界を論ずるにあたっては、化石が豊富で整合的に重なるペルム・三畳系の境界層序の検討が重要であるのは論を待たない。特に世界的な対比に重要な海成層が標準とされる。そういう点では、ペルム系の模式地であるウラル山地は上部が陸成層となり、三畳系の模式地であるドイツでも下部層は陸成層で不適当であり、テチス海域が重要である。世界の標準とされる海成三畳系の区分は Mojsisovics や Bittner によって南アルプスの研究に基づいてなされたが、下部三畳系の化石は貧弱であり、その細分については、パキスタンの Salt Range やインドのヒマラヤ山系の Spiti や Niti 地域の地層や化石に基づいてなされた (Mojsisovics *et al.*, 1895)。そして、ヒマラヤの *Otoceras woodwardi* 帯が三畳系の基底と定義され、現在もこれに従う人が多い。しかし、*Otoceras* は高緯度の極地方や Gondwana 周縁に分布が限られ、低緯度のテチス海には産しないので、両地域の対比が問題となる。ペルム系の上限については、woodwardi 帯直下のヒマラヤの Kuling 頁岩やパキスタンの Chhidru 層がペルム系最上部とみなされたが、現在ではアルメニアの Dorasham 層や中国の長興層が最上部を代表する地層とみなされている。しかし、長興層の上限は Dorasham 層

より新しいという意見もある。テチスのペルム-三畳系境界についてはKummel and Teichert(1970, ほか)や日本の研究グループ(Nakazawa *et al.*, 1975, ほか)により研究された。最近では後述するように南アルプスや中国で詳しく検討されている。以下にこれらの成果を通覧し私見を述べたい(第1図)。

## 2. 重要地域のペルム・三畳系境界の層序と対比

### 2.1 南アルプス(第2図)

海成の整合的なペルム・三畳系境界層は北イタリアのDolomitesからオーストリアのCarnic Alpsにかけて分布し、上部ペルム系はBellerophon層、下部三畳系はWerfen層と命名されている。Assereto *et al.*(1973)により検討されたときにはWerfen層の下限はほぼwoodwardi帯下底に近いが、Bellerophon層最上部のComelicania-Nankinella群集はアルメニアのDorashamian下部のComelicania-Phisonites群集に対比され、Dorasham層の上部すなわちペルム系の最上部は欠如すると見なされ、ペルム・三畳系境界は非整合とされた。その後の詳細な研究(Italian Research Group, ed., 1986; Broglio Loriga, *et al.*, 1990; Broglio Loriga and Cassini, 1992)により、次の点が明らかになった。

1) Bellerophon層はWerfen層の基底のTesero層準のoolitic unitsに整合的に覆われ、この間には層序間隙が存在する証拠はない。

2) アルメニアのComelicaniaはWaterhouse and Gupta(1986)によれば別属Gruntallinaであり、Bellerophon層のComelicania-Nankinella層とは対比できず、後者はlatest Dorashamianと見なされる。

3) Tesero層準の下半部はOmbonia, Crurithyris?, Schubertella?, Neowellerella, Spinomarginifera?などのペルム紀腕足類とTowapteria scythica, Bellerophon vacekiなど三畳紀の二枚貝や巻き貝を共存する混合フォーナを含む。この部分にはBellerophon層から生き残っている有孔虫も少なくない。

4) Ophiceras帯に特徴的な二枚貝のClaraia wangi-griesbachii群集はTesero層準の上のMazzin Memberの下底よりやや上位より産し、それより下、Tesero層準まではOtoceras帯(Lower Griesbachian)と見なされる。

5) Dolomites西部のTesero sectionではBellerophon層のトップ、Tesero層準の直前に $\delta^{13}\text{C}$ や $\delta^{18}\text{O}$ の急激な減少が見られ(Magaritz *et al.*, 1988), Carnic AlpsのGartnerkofelのコアではBellerophon層最上部に $\delta^{18}\text{O}$ の漸減とTesero層準中に $\delta^{13}\text{C}$ の急減が測定される(Holser *et al.*, 1991)。後者でのIrの異常はK/T境界やコンドライトに比べてずっと少なく、小惑星衝突が主な原因とは考えられない。

南アルプスにおける上記の層序の中での中・古生界の境界を何処に引くかについては、いろいろの考えがある



Fig. 1 Locality map of the *Otoceras* beds or Permian-Triassic mixed-fauna beds quoted in the text. 1:Northern Alaska, 2:Ellesmere Is., Arctic Canada, 3:East Greenland, 4: Spitsbergen, Svalbard Is., 5:Verkhoyansk, 6:Southern Alps, 7:Abadeh, Central Iran, 8: Salt Range, Pakistan, 9:Kashmir, India, 10:Punjab Himalaya, 11:Selong, South Tibet, 12:Changxing, Yangtze pldarform, 13:Dzhulfa, Armenia

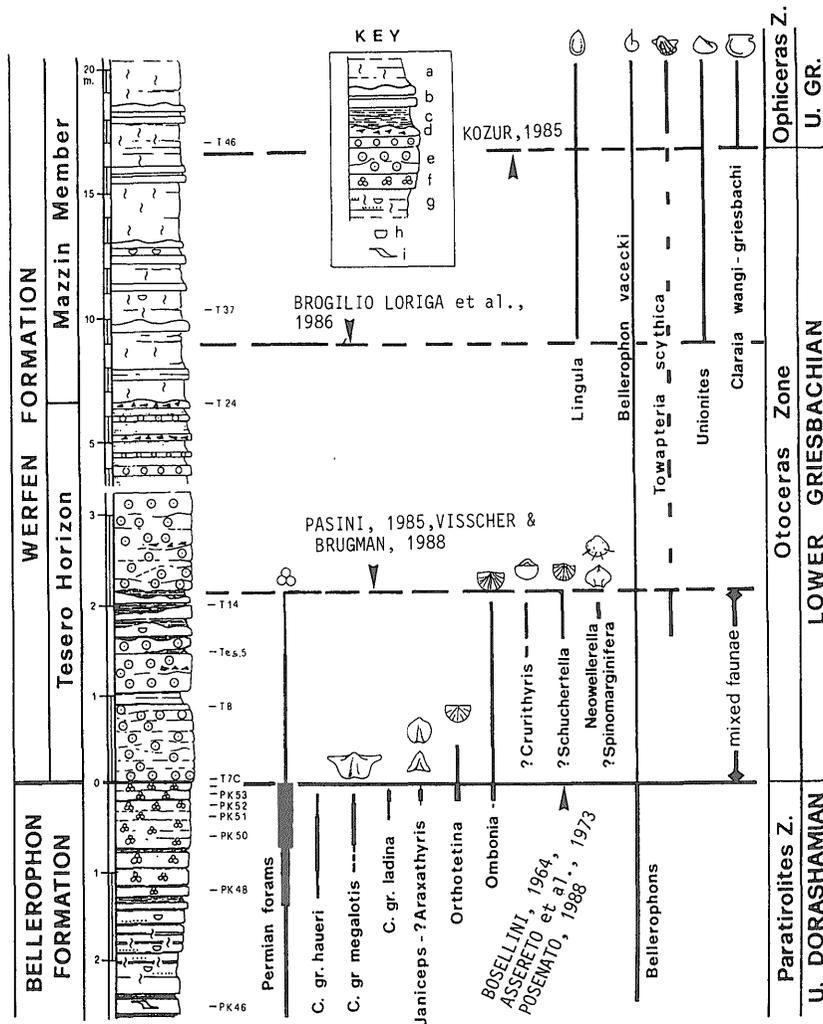


Fig. 2 Composite sequence of the uppermost Bellerophon Formation and lower Werfen Formation-Tesero section. Reproduced from Fig.3 of Posenato (1988) with the addition of Permian-Triassic boundary position of various authors based on his Fig.2. a: bioturbated marly limestone, b:limestone, c:marl, d:intraclastic limestone, e:oolitic limestone, f:bioclastic limestone, g:silty and arenaceous bioturbated dolomitic limestone.

(Posenato, 1988). Kozur (1985) は Mazzin Member 中の *Claraia wangi-griesbachi* 化石群の出現すなわち *Ophiceras* 帯の下限とし, Broglio Loriga *et al.* (1986) はさらに下位, *Unionites* spp. と *Lingula* sp. の出現 (ほぼ Mazzin Member の下底) または混合化石層の上限 (Tesero 中部層準) をもっている。また Posenato (1988) や Broglio Loriga and Cassini (1992) その他は Bellerophon 層と Werfen 層の境界 (混合化石層の下位) を境

界としている (第2図)。Schönlaub (1991) によれば Tesero 層準と Mazzin Member の下半は *Hindeodus* (= *Isaricella?*) *parvus* で特徴づけられ, *Isaricella isaricica* は *parvus* の最上部で共産する。*minutus* は Tesero 層準にかざられる。

## 2.2 イラン中央部 Abadeh 地域 (第3図)

Abadeh 地域は Iranian-Japanese Research Group

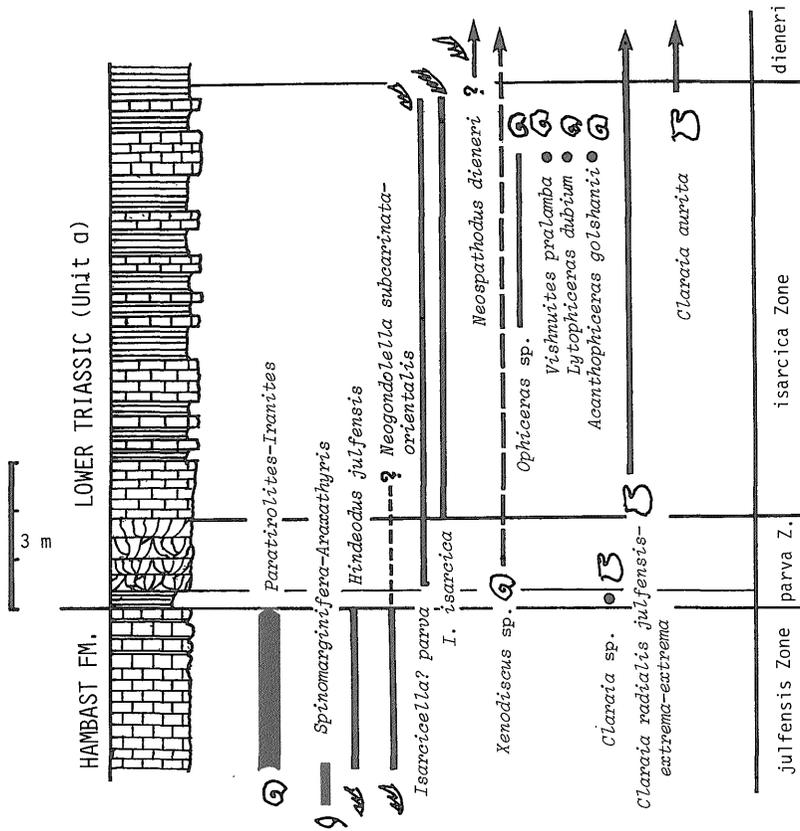


Fig. 3 Uppermost Permian and Lower Triassic sequence in Abadeh region, Central Iran, showing range chart of significant fossils (adapted from Iranian-Japanese Research Group, 1981).

(1981)によって詳しく調査された。この地域の層序と化石はアルメニアのDzhulfa地域 (Ruzhentsev and Sarycheva, 1965; Rostovtsev and Azaryan, 1973) やそのイラン側の延長である Julfa 地域 (Stepanov et al., 1969; Teichert et al., 1973) のそれとは極めてよく一致する。Abadeh のペルム系は Surmaq, Abadeh, Hambast の 3 層に区分される。Hambast 層の上部 unit は *Shevyrevites*, *Shevyrevites-Paratiroliotes*, *Paratiroliotes* の 3 アンモナイト化石帯が認められ、Dzhulfa のペルム系最上部の Dorasham 層や Julfa の Ali Bashi 層に対比できる。下部三畳系は 10-30cm の淡黄緑色のいわゆる境界頁岩に始まり、その上に 130-180cm のストロマトライト石灰岩、さらに石灰岩・頁岩互層と重なる。互層中の石灰岩は生痕化石に富み、vermiculer limestone と言われる。*Isarcicella? parva* と *I. isarcica* が共存し、*Ophiceras* や *Vishnuites* を

産し、*Ophiceras* 帯と見なされる。ストロマトライト石灰岩 (algal biolithite) は *isarcica* を含まず、稀に *Claraia* を産し、境界頁岩と共に *I. parva* 帯に含められた。カシミルの *Otoceras woodwardi* 帯上部に対比され、その下部は欠如していると見なされた。すなわちこの地域の中・古生界は paraconformity (準整合) の関係にあるとされた。注目すべき点は *Gondolella orientalis* や *G. subcarinata* などペルム紀のコノドントがストロマトライト石灰岩直上の石灰岩から得られているが、ペルム紀からの生き残りか二次化石かは断定できない。ペルム紀の *Paratiroliotes* 石灰岩直上の境界頁岩に相当する頁岩層は Julfa でも認められ、ここでは 80cm のチョコレート色の頁岩である。同様の頁岩は Dzhulfa にもありそうである (Rostovtsev and Azaryan, 1973 の柱状図及び、Kozur et al., 1978 の柱状図。ただし前者の柱状図の P/T 境界の引き方

には疑問があり, *Paratirolites*石灰岩とその直上の頁岩またはalgal limestoneの間にひくべきである。

2.3 パキスタンのSalt Range地域(第4図)

Salt Range地域は上部ペルム系-下部三畳系の古典的に重要な所であり, 多くの研究がある(Wyne, 1878; Waagen, 1879, ほか; Noetling, 1901, など)。また, Schindewolf(1954)が古生代末の集団絶滅の原因として宇宙線説を提唱したのはChhidruのセクションに基づいている。ペルム-三畳系境界についてはKummel and Teichert(ed.)(1970)や Pakistani-Japanese Research Group(PJRG)(1985)により詳しく検討されている。上部ペルム系は古くUpper Productus Limestoneと称されたが, 現在Chhidru層と言われている。その時代については上の三畳系と整合でその間には時間的

間隙が無いという考え(Schindewolf, 1954)と, 両者間に著しい生物群の相違があり, 共通種がほとんど無いことから, かなりの時間的間隙があるとする考えがある(Tschernyshew, 1902, その他)。Waterhouse(1976)はChhidru層はDzhulfianより古いとみなし, PJRGはlate DzhulfianとしDorashamianは欠如していると結論している。下部三畳系はKummel and Teichert(1970)によりMianwali層と命名され, Kathwai, Mittiwali, Narmiaの3部層に区分された。Kathwai Memberは更に下位のDolomite Unitと上位のLimestone Unitに分けられた。後者はWaagen(1895)のLower ceratite limestoneの下半部に相当すると考えられる。両Unitsからは*Ophiceras connectens*がSchindewolfにより発見されており, Kummel and Teichertにより*Ophiceras*帯に対比された。しかし, インダス河西方の

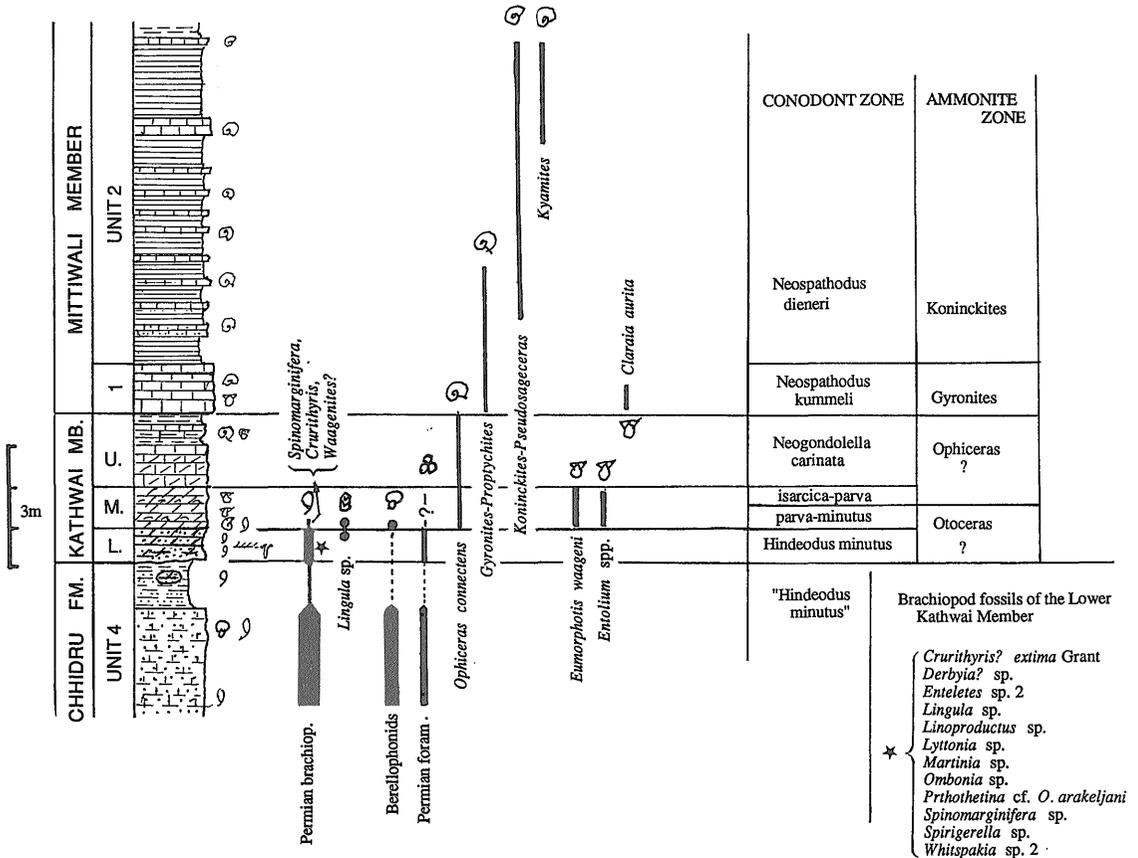


Fig. 4 Uppermost Chhidru Formation and lower part of Mianwali Formation at Narmia, Surghar Range, Pakistan and composite range chart of representative fossils (adapted from Pakistani-Japanese Research Group, 1985) (Erratum: Read *Pernopecten* for *Entolium*).

Surghar山脈のNarmiaの谷では、Dolomite Unitの下部からペルム紀の腕足類が多数発見されている。Kummel and Teichertはこの層準をChhidruの *Ophiceras* 層と同じと考え、これらをペルム系からの残存化石と見なした。しかし、これを鑑定したGrant (1970)は、両者間是不整合であると考えている。その後Grant and Cooper (1973)は長興階に、またWaterhouse (1976)は *Otoceras* 帯(彼はペルム系に含める)にこの化石層を対比した。PJRGは詳細に再検討した結果、Kathwai 部層は上・中・下に三分することが適当であり、上述のペルム紀腕足類は下部層に含まれ、*Ophiceras*層は中・上部層であることを明らかにした。さらに、コノドントを検討した結果中・上部層を *Otoceras*帯上半から *Ophiceras*帯に対比し、下部層をペルム系最上部とし、中部層との間に時間間隙を考え、Grantの見解を支持した。なお、既述のようにPJRGはおもにフズリナや有孔虫化石によりChhidru層はDzhulfianであり、Dorashmianには及ばない

との見解である。従って、Chhidru/Kathwai間も不整合である。

2.4 インドのカシ米尔地域(第5図)

インドのカシ米尔地域のペルム・三疊系はNakazawa *et al.*(1975)によりスリナガル東方、Guryul ravineとBarus付近で詳しく調査された。海成の上部ペルム系~下部三疊系は下位のZewan層と上位のKhunamuh層に二分され、さらにA~D, E~Iにそれぞれ区分された。E層はUnit E<sub>1</sub>-E<sub>3</sub>に細分され、E<sub>2</sub>層から *Otoceras*を発見し、アンモナイト、二枚貝、コノドントに基づきE<sub>2</sub>層は *Otoceras woodwardi*帯に、またE<sub>3</sub>層は *Ophiceras*帯 (*Ophiceras tibeticum*と *Ophiceras* sp.の2亜帯)にされた。E<sub>1</sub>層はペルム紀の腕足類や二枚貝を含みペルム紀と見なされたが、Teichert *et al.*(1976)は *Claraia*を発見してこれを古生代と中生代の混合化石群と見なした。Nakazawa *et al.*(1975)はE<sub>1</sub>/E<sub>2</sub>を中・古生界境界と見なし

P/T in KASHMIR, INDIA (Nakazawa et al., 1975)

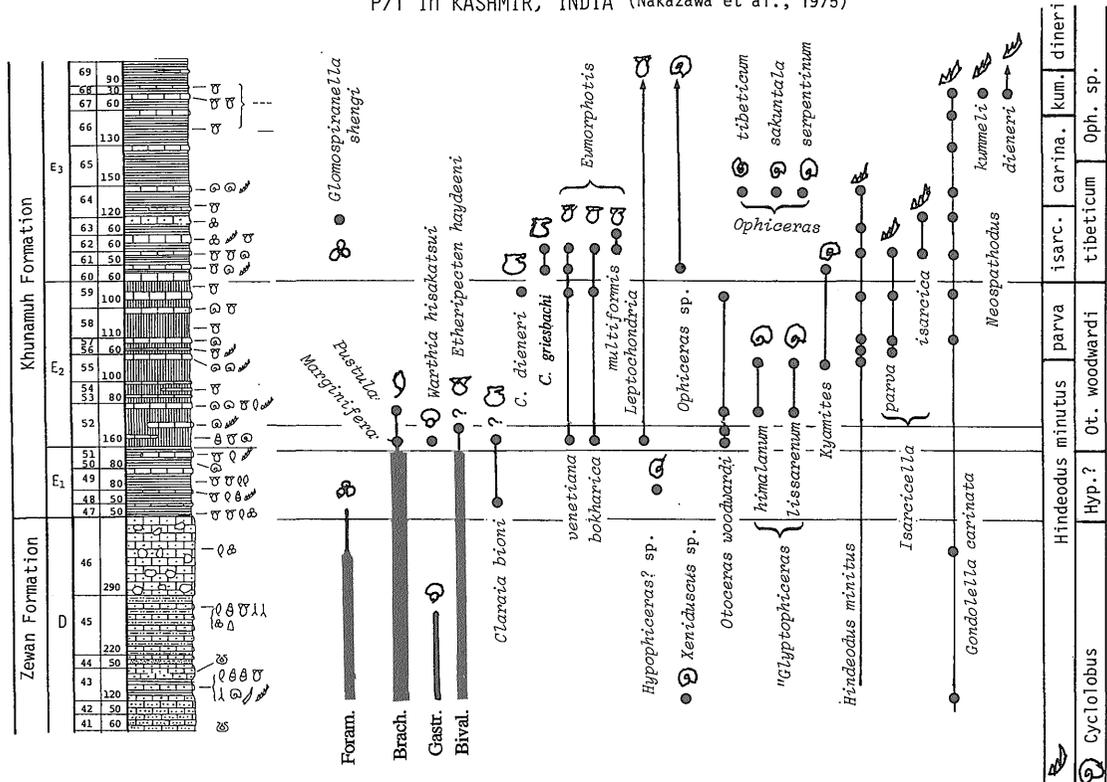


Fig. 5 Columnar section and range chart of fossils of uppermost Zewan Formation and lower part of Khunamuh Formation in Kashmir, India (adapted from Nakazawa *et al.*, 1975).

だが、両者は全く整合であって、物理的に堆積間隙を示す証拠はない。なお、E<sub>2</sub>層の下限付近からは *Pustula* sp., *Marginifera* sp., *Etheripecten haydeni*? などペルム紀とみなされる化石が得られたが、それぞれ僅か1個体のみで、二次化石の可能性もある。

2.5 南チベット, 珠峰(エベレスト)地区 (第6図)

ペルム・三畳系境界層は Punjab Himalaya (Spiti, Niti) が古典的に重要であるがネパールでも同様の層序が知られており、*Otoceras* 層基底部からは *concaum* と共にペルム紀腕足類を産する (Kapoor and Tokuoka, 1985)。最近チベット南部珠峰地区が中国の学者により調査され、さらに重要と思われる断面が明らかにされた (Wang *et al.*, 1989)。ペルム系は色竜 (Selong) 層群、三畳系は土隆 (Tulong) 層群と称される。三畳系最下部は黄褐、淡灰色のドロマイト質石灰岩および石灰岩で、下位の *Otoceras latilobatum* 帯と上位の *Otoceras woodwar-*

*di* 帯が認められ、それぞれカナダの *O. concaum* 帯と *O. boreale* 帯に対比された。その下は6cm~17cmの灰色石灰岩で *Waagenites barusiensis*-*Paracrurithyrus pigmaea* 腕足類やコノドント化石から長興階と見なされたが、色竜層群の主体は *Chonetella nasuta* 群衆で特徴づけられ、カシミールの Zewan 層に対比されている。長興階石灰岩の上下面は侵食面で、それらの直上には二次化石が見られる。*latilobatum* 帯は *Isarcicella? parva* の外に、長興階を特徴づける *Neogondolella changxingensis* を産する。また二枚貝 *Peribositra* を産することから *Otoceras* 層は中国長興地域の下部三畳系基底の mixed fauna bed II に比較された。

2.6 中国長興地域 (第7図)

中国には最も完全とおもわれるサクセッションが発達し、各地域の層序が詳しく検討されて多数の論文がある (例えば楊ほか, 1991; Sheng *et al.*, 1984; 李ほか, 1989)。

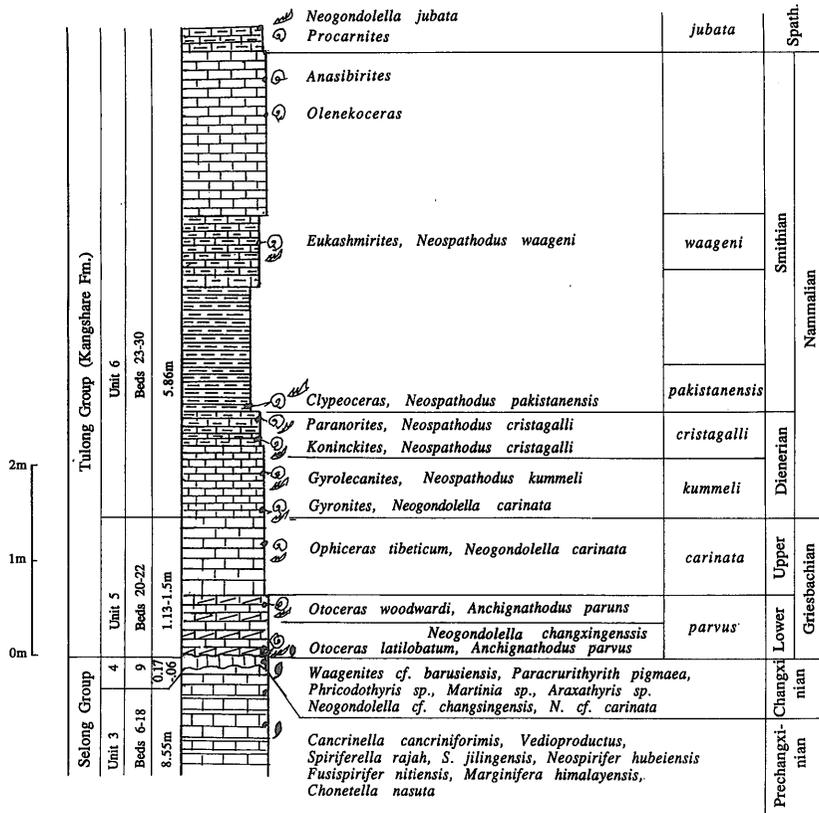


Fig. 6 Columnar section of Permian-Triassic transition beds in Selong-Xishan area, South Tibet (made from Wang *et al.*, 1989).

長興地域煤山の境界層の層序は次の通りである (Sheng *et al.*, 1984).

青竜果層下部

混合化石層3

青灰色泥岩, *Claraia* sp., *Neowellerella* sp.を含む泥灰岩を伴う。3.20m

暗灰色泥岩, *Claraia* sp., *Crurithyris* sp.を含む粘土を2・3枚挟在。0.80m

灰色泥灰岩。0.05m

白色粘土。0.03m

混合化石層2

含黄鉄鉱灰色ドロマイト質泥灰岩。

*Geinitzia* sp., *Nodosaria* sp., *Crurithyris* sp., *Fusichonetes* sp., *Paracrurithyris* sp., *Waagenites* sp., *Paryphella* sp.を含む。0.18m

混合化石層1

黒色泥岩, *Acosaria* sp., *Araxathyris* sp., *Fusichonetes* sp., *Claraia?* sp., *Peribositra baoqingensis*, *Hypophiceras* sp., ophiceratidsを含む。0.08m

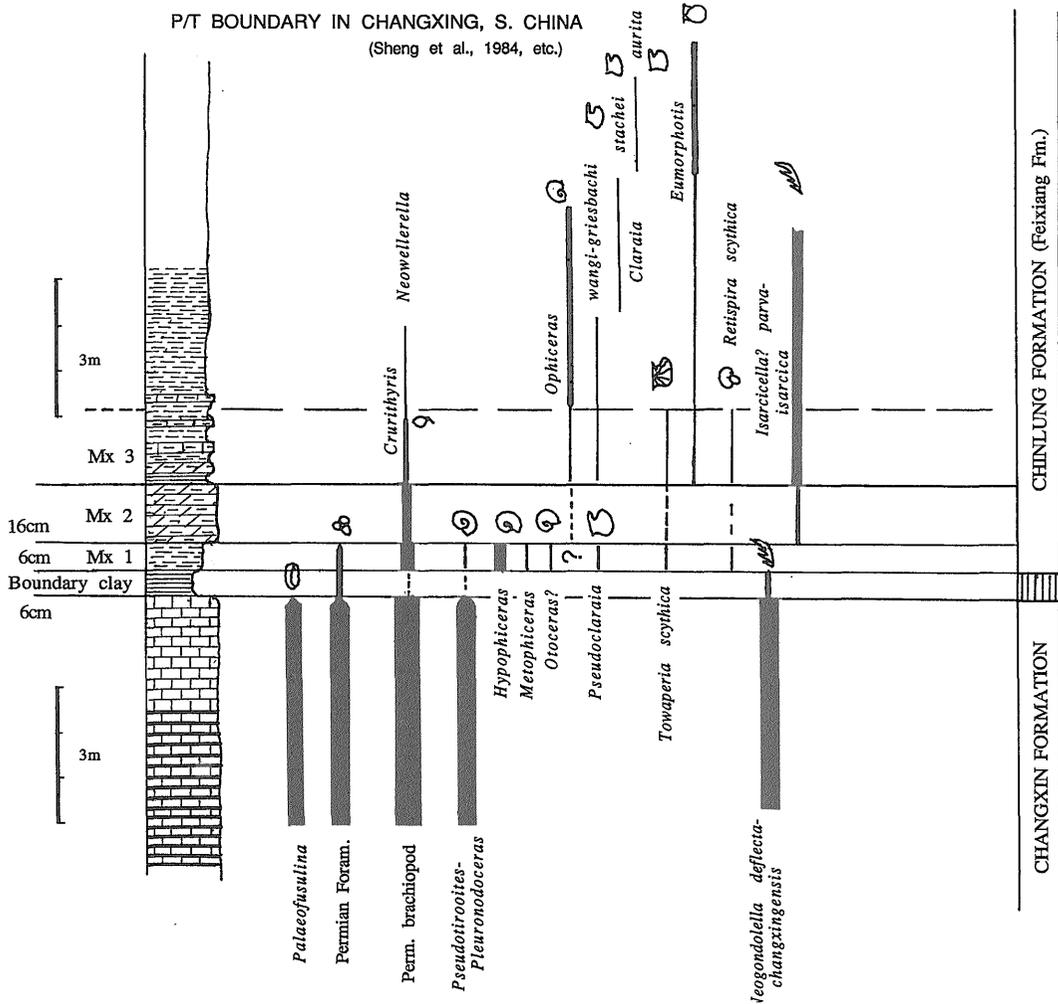


Fig. 7 Columnar section and range chart of representative fossils or fossil groups of Uppermost Changxing Formation and lowermost Chinlung Formation at Meishan in Changxing area, South China (made from Sheng *et al.*, 1984).

イライト-モンモリロナイト粘土, 0.06m

長興累層

暗灰色石灰岩, チャート薄層または団塊を含む。

*Palaeofusulina*, *Changhsingoceras*, *Pleuronodoceras*, *Araxathyris*, *Cathaysia*, *Fusiproducetus*, など。2.97m

青竜累層基底の粘土, いわゆる境界粘土層, を中心にして鉱物学的あるいは化学的に詳しく検討されている(李ほか, 1989; Chai *et al.*, 1992)。その結果この粘土層は火山灰起源であるが, REEパタン, Ir,  $\delta^{13}C$ を検討すると, 中・古生界境界における大量絶滅の原因は複雑であり, 火山活動, 小惑星衝突などいくつかの複合的原因が考えられると言う。なお, 境界粘土層は現在は後述のように長興層に含められている。

2.7 北極地域(第8, 9図)

北極地域の重要な場所としては, シベリアのヴェルホヤンスク, カナダ極地方のエレズミア島, グリーンランド東部海岸やスヴァールバル諸島が挙げられる。カナダでは三畳系最下部の *Otoceras*層は Tozer(1961, 1967)により, Lower Griesbachianのタイプとされ, *O. concavum*帯

とその上の *O. boreale*帯が認められている。ペルム系の色々の層準に接しており, 両者間是不整合とみなされている。グリーンランド東部(第8図A)では *O. boreale*帯は *Ophiceras spathi-subdemissum*帯に相当し, その下位は *Hypophiceras*で代表され, これが *concavum*帯に対比される(Grasmück and Trümpy, 1969; Trümpy, 1969)。ペルム系最上部は Trold Fiord 累層のいわゆる Martinia石灰岩または頁岩であるが, その年代は恐らく Dzhulfianに達しない(Nakamura *et al.*, 1992)。スヴァールバル諸島ではスピッツベルゲン島に *Otoceras boreale*の産出が知られているが(第8図B; Korchinskaya, 1982; Nakazawa *et al.*, 1987), *concavum*は未発見で欠如している可能性が高い。上部ペルム系は Kapp Starostin層といわれるが, その時代はほぼ Guadalupianで Dzhulfianに達してもその最下部とされる(Nakamura *et al.*, 1992)。従って, 極地域のペルム・三畳系境界は平行不整合または準整合であり, ペルム系上部の大部分は欠如している(Nakazawa *et al.*, 1992)。なお, グリーンランドでは Griesbachianを通じてペルム紀の化石が発見されるが, その殆どが二次化石と見なされている(Teichert and Kummel, 1976)。ヴェルホヤンスクで

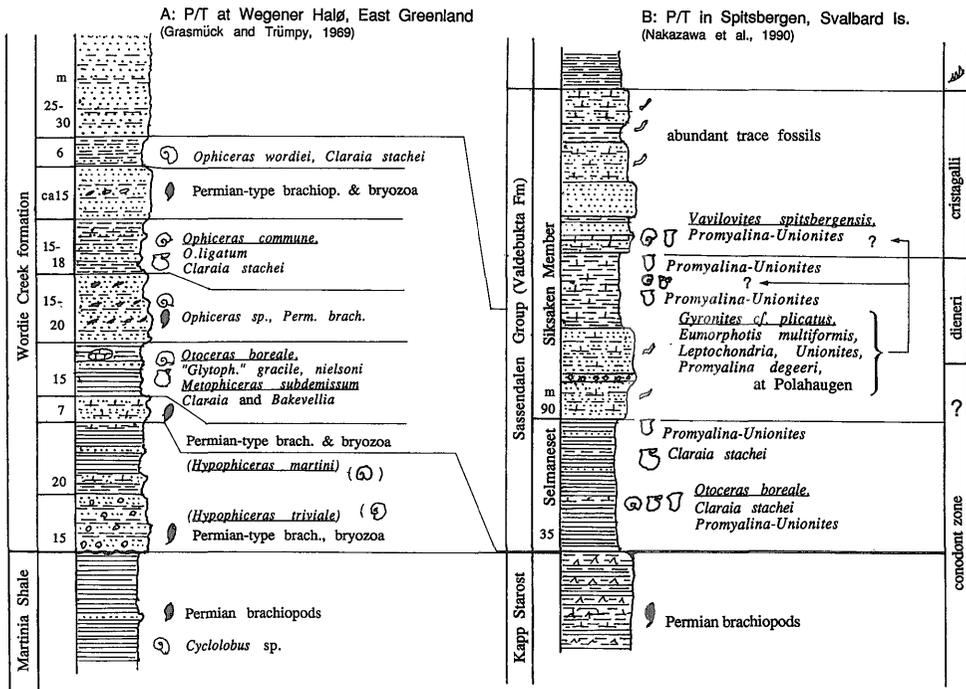


Fig. 8 Columnar sections of uppermost Permian-lowermost Triassic in East Greenland(A) and Spitsbergen(B) (from Grasmück and Trümpy, 1969 and Nakazawa *et al.*, 1990).

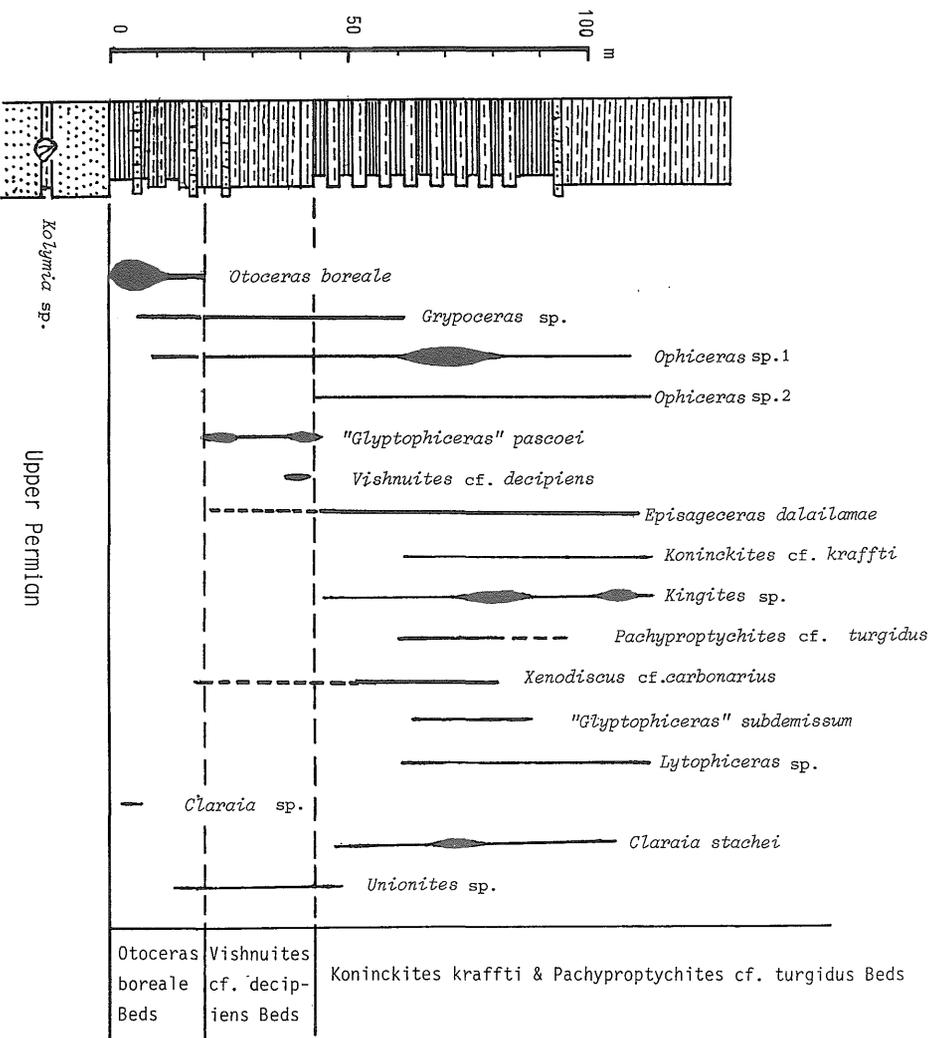


Fig. 9 Columnar section and range chart of fossils of lower part of the Lower Triassic in Verkhoyan region (simplified from Zakharov, 1971)

は *O. boreale* 層が二枚貝の *Kolimya* を含む上部ペルム系の上にある (Zakharov, 1971; 第9図)。ペルム系の正確な時代は不明だが Tatarian 上部は欠如するらしい (Kotljars and Stepanov, 1984)。

### 3. 各地域の対比

境界層の対比で一番の問題は古典的に三疊系の基底とされる *Otoceras* 層は分布が北極地域 (シベリア東北部, カナダ極地域, グリーンランド東部, アラスカ, スヴァールバル諸島) とゴンドワナ周縁地域 (インドのパベンジャブヒマラヤ, ネパール, チベット南部) に限られ, 世界の標準区分のタイプとされる本来のテチヌ区域には分布していない点にある。多くの研究者は *Otoceras* 層をテチヌ区域のペルム系最上部の標準とされる Dorashan 層や長興層よ

り上と考えているが, これらの地層と同時であるとする人 (Sweet, 1979, 1992; Bhatt *et al.*, 1981), *Otoceras* 帯の下半部を Dorashanian とみなす人 (Kozur, 1972; Yin *et al.*, 1986) もいる。テチヌ区域との対比には *Otoceras* 層から産する他の化石でテチヌに共通するものを検討する必要がある。すなわち, 次のような種類が *Otoceras* 層から知られている。

- 二枚貝 . . . . . *Claraia stachei*, *Emantiospreon* cf. *difforme*, *Unionites breviformis*, *Myalina* cf. *vetusta* (極地域), *Emmorthoites venetiana*, *E. multiformis*, *E. cf. bohvarica*, *Leptochonadria* cf. *minirina* (ヒマラヤ) 巻貝 . . . . . *Bellerophon borealis*, *B. cf. vaccki*, *Worthenia* cf. *humilis*, *Naticopsis arctica* (極地域), *Wartzia hisdatskai* (ヒマラヤ)

アンモナイト……*Hypophiceras triviale*, *H. minor*, *H. martini*, *H. polare* (極地域), *Lytophiceras sa-kuntala*, *Xenodiscus himalayana*, *X. lissarenum* (ヒマラヤ)

コノドント……*Gondolella carinata*, *G. subcarinata*, *G. deflecta*, *Hindeodus minutus*, *Isarcicella? parva* (ヒマラヤ, チベット), *G. carinata*, *H. typicalis* (極地域)

腕足類……*Lingula borealis*

上記の中でテチスと共通するもの, または近縁のものとしてはつぎの種類がある。

*Claraia stachei*……北ヴェトナムの *Lytophiceras*-*"Glytophiceras"* 層 (Vu Khuc, 1965), 中国貴州その他の飛仙閣組中部 (Griesbachian 上部) (Chen, 1979), その他

*Enantiostreon difforme*……ドイツの中・上部三畳系, 雲南の上部三畳系

*Unionites breviformis*……近縁の *U. fassaensis brevis* は Alps では下部三畳系上部で, またこの種類はもっと上部にも産する。

*Eumorphotis venetiana*……アルプス下部三畳系中部 Campil Member, 貴州夜郎組 (下部三畳系下部)

*Eumorphotis multiformis*……中国の Dienerian から上, 日本の Smithian, その他

*Eumorphotis bokharica*……ウズベクの Bokhara の下部三畳系

*Leptochondria minima*……ウスリーの *Meekoceras* 層, その他

*Bellerophon vaceki*……Werfen 層の Tesero 層準から Campil Member まで。

*Hypophiceras cf. martini*……長興煤山の混合化石層 1

*Gondolella (=Neogondolella) deflecta*, *G. subcarinata*……中国長興階及び混合化石層 1

*Worthenia humilis*……ハンガリーの Anisian Warthia は古生代, *Loxonema* は古生代から三畳紀にかけて生存する属である。

上述のなかで, *concauum* 帯から産するのは *Worthenia cf. humilis*, *Enantiostreon cf. difforme* および *Claraia stachei* である。以上の外, *woodwardi*, *boreale* と共存するアンモナイトの *Vishnuites*, *Proptychites* はいずれも上位の *Ophiceras* 帯に普通の属である。すなわち, 共存する化石はコノドントの幾つかを除けば, すべてテチスの (中) 下部三畳系と共通し, Dorasham 階や長興階には見られず, これらと対比することはできない。従っ

て, *Otoceras* 帯は *Ophiceras* 帯より下位で, Dorashamian または長興階より上位と見なされる。南アルプスには *Ophiceras* は産しない。しかし *Claraia wangi-griesbachi* 帯がそれに相当することは, 中国その他の地域での産状から肯定できよう。さらに下には *Unionites*, *Lingula* を含む部分があり, Tesero 層準はその下にくる。既述のようにこの下半部が混合化石層である。 *wangi-griesbachi* 層準より下, Bellerophon 累層まで Posenato (1988) は *Otoceras* 帯と見なした。しかし混合化石層とは言え, *Towapteria scythica*, *Bellerophon vaceki*, *Bakevella*, *Unionites* のみが三畳紀の種類で, 他はすべてペルム紀またはペルム紀型の腕足類や有孔虫である。コノドントは *Hindeodus latidentatus*, *H. minutus* を産し, Carnic Alps では *parva* も産する (Schönlaub, 1991)。一方この中の腕足類や有孔虫化石はパキスタンの Kathwai Member の下部ユニットや中国の混合化石層 1, 2 に類似する。

コノドントではどうなるであろうか。 *Otoceras* 帯のコノドントはカシミルで明らかにされている (Matsuda, 1981)。上半部は *Isarcicella? parva* 群集, 下半部は *Hindeodus minutus*-*Gondolella carinata* で特徴づけられるが, 後者はすべて下のペルム系まで伸びる。この分帯に基づいて, イランの Abadeh の下部三畳系最下部ストロマトライト質石灰岩は *parva* 帯であり *Otoceras* 層上部に対比され, 下部層相当層は欠如すると見なされた (Iranian-Japanese Research Group, 1981)。また, パキスタンの Kathwai Member の下部ユニットは *Hindeodus minutus*, 中部ユニットは *parva-isarcica*, 上部ユニットは *carinata* のコノドント帯が認められ, それぞれ Dorashamian, *Otoceras* 帯上部?, *Ophiceras* 帯とされ, *Otoceras* 帯下部が欠如している可能性ありとされた。しかし, *parva* はチベットの珠峰地区では *Otoceras woodwardi* 層準の下の *latilobatum* 層準にペルム紀型のコノドントと共存し, また Alps では Tesero 層準の混合化石層からも産する。一方グリーンランドでは, ペルム系上部から *Otoceras boreale* 帯にかけて *Anchignathodeus typicalis* (= *Hindeodus minutus*?) - *Gondolella carinata* 群集で特徴づけられ, *Isarcicella* は産しない (Teichert and Kummel, 1976)。カシミルで *Otoceras woodwardi* 帯の下半部から *parva* が産しないのは恐らく個体数が少ないためで, *Otoceras* 帯全体が *parva* 帯に含まれるものと考えられる。従って, 上述のようにカシミルを例に取り, *Otoceras* 帯下部が欠如すると結論するのは尚早である。

つぎの問題点は混合化石層 (帯) とされるものがすべて

同時であるかどうかである。アルプスではつぎの腕足類が含まれる。

*Crurithyris?*, *Schubertella?*, *Spinomarginifera*, *Neowellerella*, *Ombonia*, *Orthotetina*, *Lingula*  
Salt Rangeでは

*Crurithyris?*, *Spinomarginifera*, *Derbyia?*, *Entelestes*, *Linoproductus*, *Leptodus*, *Martinia*, *Ombonia*, *Prothetina*, *Lingula*  
中国では

*Crurithyris*, *Spinomarginifera*, *Neowellerella*, *Paracrurithyris*, *Fusichonetes*, *Paryphella*, *Waagenites*, *Lingula*

これらはかなり類似しており、とくにアルプスと中国とは *parva* を産しており互いに対比される。Salt RangeのKathwai層下部は三疊紀の化石は発見されていないが、上位と全く整合的であり、また腕足類の類似性からこれらの地層と恐らく対比できよう。一方カシミルのE<sub>1</sub>層は *Linoproductus*, *Lissochonetes*, *Dielasma?*, *Waagenoconcha*, *Neospirifer*, *Marginifera*, *Pustula*, *Schellwienella*などで類似性が少なく、他の混合化石層と対比するのに躊躇する。しかしこれは Gondwana 周縁地域とテチス地域という生物地理区の相違なのかも知れない。下位にある Zewan 層の C, D 部層は Dorashamian を特徴づけるコノドントの *Gondolella subcarinata* が報告されており (Murata, 1981), また上位の *Otoceras* 層 (E<sub>1</sub> Unit) とは全く整合ではっきりした境が認め難いことから、ここでは他地域の混合化石層に対比したが、将来の検討を要する。

カナダ極地方の *Otoceras* 層は *boreale* 帯とその下の *concauum* 帯に区分されるが、グリーンランドでは *concauum* 帯は *Hypophiceras* 帯で代表される。その上は *Ophiceras* 帯でこの帯まではペルム紀の化石が多数発見される。Teichert and Kummel (1976) はこれらを二次化石と見なしている。しかし全部がそうであるかは検討を要する問題である。中国の混合化石層の *Otoceras* は保存が悪くその同定は疑問であるが、*Hypophiceras* を産するので *Otoceras* 帯の恐らく下部の *concauum* 帯に対比できよう。またチベットの *O. woodwardi* 層準と *latilobatum* 層準は北極地域の *boreale*, *concauum* の両帯にそれぞれ比較できる。*latilobatum* 層準からは Wang et al. (1989) は *Peribositra bioni* を報告、カシミルの E<sub>1</sub> 層との関係を示唆した。陳 (趙その他, 1981) は長興地区の混合化石層より新属 *Peribositra* を設定したとき、カシミルの *Claraia bioni* も同属とみなし、その時代的意義を論じている。しかし *Peribositra* の模式標本は保存がかなり悪く、

おそらく *Claraia* か *Pseudoclaraiia* と思われる。またチベットの *bioni* とされたものはカシミルのものとは別種であると考えられるので対比には必ずしも有効でない。

以上の検討結果に基づいて対比したものが第10, 11図である。これによれば *Otoceras* 層またはその相当層の層厚は著しく変化する。従来と異なるのは、*Otoceras concauum* 帯を *woodwardi* 帯の下位として混合化石層に対比し、また Salt Range の Kathwai 層下部とカシミルの Khunamuh 層の E<sub>1</sub> ユニットを、後者の *Claraia bioni* をのぞき、三疊紀型の化石が未発見にもかかわらず混合化石層に対比した点である。

#### 4. ペルム/三疊系 (古生/中生界) 境界

ペルム/三疊系境界をどこに引くべきかについては正確な対比がまず必要である。ここでは前述の対比表が現在の時点で最も確からしいという前提で検討する。従来の古典的な *Otoceras* 帯の基底を三疊系の基底とする考えの外に幾つかの説が提案されている (第2図)。Newell (1986) は三疊紀の最初期とされる Griesbachian を特徴づけるアンモナイト *Otoceras-Ophiceras* はペルム紀からの生き残りであり、つぎの Dienerian に至って三疊紀型のアンモナイトの meekoceratids やコノドントの *Neospathodus* の放散があり、従って Griesbachian/Dienerian を境界とすべきであると言う。Kozur (1973) や Waterhouse (1976) も *Otoceras* 帯のフォーナはペルム紀と類縁があり、*Otoceras* 帯 (Griesbachian 前期) / *Ophiceras* 帯 (Griesbachian 後期) を境界と考える。一方、*Otoceras* はテチス海域には発見されないで、それに代わるもっと汎世界的に使用できるものとして *Hypophiceras* を用いる提案 (王, 1984), また *Isarcicella? parva* 帯の基底を境界とみなす提案 (Yin, 1985; Yin et al., 1986) がある。従来ヒマラヤの *Otoceras woodwardi* 帯を北極区の *O. boreale* 帯と *O. concauum* 帯両者を含めて対比されることが多い。しかし、前述のように *woodwardi* 帯を *boreale* 帯に、その下位の混合化石層を *concauum* 帯に対比した。Yin (1985) は *concauum* 帯がペルム系になる可能性を指摘した。ペルム紀末は古生代の生物の集団絶滅で特徴づけられるが、生物群の変化に基づく *woodwardi-boreale* 帯の下限 (混合化石層上限) と *concauum* 帯下限 (混合化石層基底) のいずれかを境界と見なすのが適当と考えられる。即ち混合化石層下限でペルム紀からの生物の大部分は消失し、上限で極く少数の種類を残し全く絶滅する。生物群の絶滅率からみると混合帯の下限のほうが上限よりも顕著である。しかし混合化石帯は中国を除いては三疊紀の化石は極めて少なく、ペル

	CONODONT ZONE	AMMONITE ZONE	South Alps, ITALY	Abadeh, IRAN	Salt Range, PAKISTAN	Changxing, CHINA	Kashmir, INDIA	East Greenland, DENMARK
LOWER GRIESBACHIAN	Neospathod. dieneri N. kummei	Gyronites frequens	SUISI M. <i>Claraia aurita</i> <i>C. clarai</i>	<i>Claraia aurita</i>	MITTWA. <i>Claraia aurita</i> , <i>Gyronites frequens</i>	<i>Claraia aurita</i> <i>C. stachei</i>	<i>Claraia concent.</i>	<i>Vishnuites decipiens</i>
	Neogondolel. carinata	Ophiceras tibeticum	WERFEN FORMATION MAZZIN MEMBER	LOWER TRIASSIC (UNIT a) <i>Ophiceras</i> , <i>Vishnuites</i> - <i>Claraia radialis julfensis</i>	KATHWAI MEMBER	CHINLING FORMATION <i>Ophiceras connectens</i>	KHUNJAMUJ FORMATION E <sub>3</sub>	WORDIE CREEK FORMATION
	Isarcicella isarcica	<i>Claraia wangi</i>   <i>griesb.</i>						
	Isarcicella? parva   "Hindeodus minutus"	Otoceras woodwardi-boreale  Ot. concavum (Hypophiceras)	TESERO HOR. <i>Lingula</i>  Mixed Zone	Thrombolite ls. <i>Xenodiscus</i>	Middle Member  Lower Member	Mixed Bed 2  Mixed Bed 1	E <sub>3</sub> <i>Otoceras woodwardi</i>  L <sub>1</sub> <i>Hypophi.?</i> <i>Claraia</i>	Otoceras boreale  <i>Hypophiceras martini</i> <i>Hypophiceras triviale</i>
CHANGXINGIAN	Neogondolel. deflecta-N. changxingen. (Hindeodus julfensis)	Rotodiscoc. -Pleuronodoc. (Paratirol.)	BELLEROPHON FM. <i>Palaeofus</i> , <i>Reichelina Comelicaan.</i>	HAMBAST FORMATION <i>Paratirol.-Shevryevites</i>	CHHIDRU FORM.	CHANGXING Boundary Clay <i>Rotodiscoc.-Pleuronodoc., Palaeofusuli.</i>	ZEWAN FORMATION D <i>Xenodisc.</i>	MARTINIA BED
DZHULFIAN				<i>Araxoceras</i>		WUJAPINGIAN	C <i>Cyclotob.</i>	

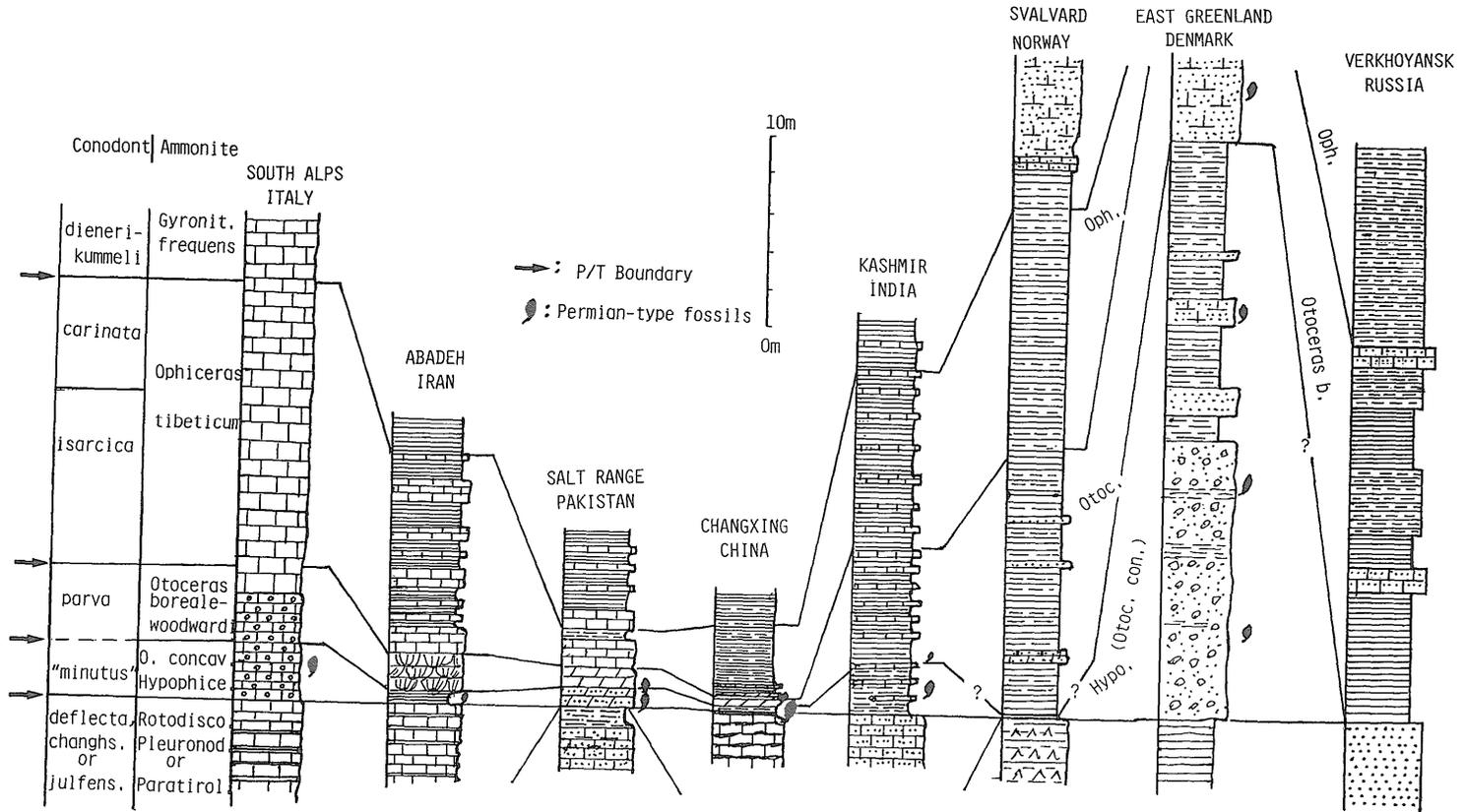
Permian type fossils: abundant, common, rare.

Fig. 10 Correlation chart of the Permian-Triassic transition beds in the world.

ム紀からの種類がずっと多い。この点では混合化石層をペルム系に含める考えも可能である。一方、混合層下限は全世界的に顕著な岩相の変化と一致し、層群あるいは累層の境界に合致しており、フィールドでは容易に認識できる。なお、中国では境界部にいわゆる境界粘土と呼ばれる黄白色の数cm~10数cmの粘土層があり従来は三畳系に含められていたが、最近ペルム紀コノドントの *Neogondolella changxingensis*-*N. deflecta* が見いだされ、三畳紀の種類を含まないところからペルム系に入れられている(盛ほか, 1987; Yang and Li, 1992)。前述のように生物群の交替現象からみた場合混合層の下限又は上限を境界としたほうがよいと思われるが、両者一長一短あり、どちらをとるかは外の要素も考慮にいれる必要がある。

**地球化学的検討** 周知のようにK/T(白亜紀/古第三紀)境界ではIrの異常な含有量の外に、REEや金属元素にも異常が見られ、集団絶滅の原因として小惑星衝突説が普遍的になった。P/Tr境界層についても各地で検討されている(第12図)。例えば、生物生産量に関係すると考えられている $\delta^{13}C$ の急激な減少がアルプス、イラン、ヒマラヤ、中国の境界層に共通して測定されているが、細かくみると若干の違いが見られる。北イタリアのDolomites西部Teseroでは混合層の直下、Bellerophon層の最上部に

$\delta^{13}C$ や $\delta^{18}O$ の急減が見られるが(Magaritz *et al.*, 1988)、オーストリアのCarnic Alpsでは混合層中に $\delta^{13}C$ の急減があり、 $\delta^{18}O$ はBellerophon層上部から減少が進行しWerfen層Tesero層準の上Mazzin層下部で最低になる(Holser *et al.*, 1989; 1991)。Ir含有量はTesero/Mazzin境界とその38m上位と二つのピークが認められるが、その量はコンドライトやK/T境界に比べてかなり小さい。他の金属元素の分析結果も考慮して、古生代末の集団絶滅の原因を全世界的な海退が主なものとして結論している(Broglio Loriga and Cassinis, 1992)。Magaritz(1989)によればイランのJulfaではペルム系のAli-Bashi層の最上部の頁岩層中に $\delta^{13}C$ の急減があるが、この頁岩層はStepanov *et al.*(1969)では下部三畳系のEli-kha層にされており、Abadehの境界頁岩層に対比され、恐らく混合化石層に比較される。ヒマラヤのSpiti地区では最近Lilangのセクションで地球化学的検討がなされた(Bhandari *et al.*, 印刷中)。ここではペルム系のProductus頁岩の上にOtoceras石灰岩が乗るが、境界に5cmのリモナイト質砂礫岩層が広い範囲にわたって追跡される。Irの含有量のピークはこの境界層と、これから約20cm下のProductus頁岩中にあるが、その量はアルプスや中国のP/Tr境界にみられるものと同じ程度である。REEも境界層中に多い。中国の境界粘土層も広い地域にわたって見



ネチスのペルム・三疊系境界の層序と中・古生界境界 (中沢圭二)

Fig. 11 Columnar sections of uppermost Permian-Lower Triassic sequence in the world. Arrow: possible Permian-Triassic boundary

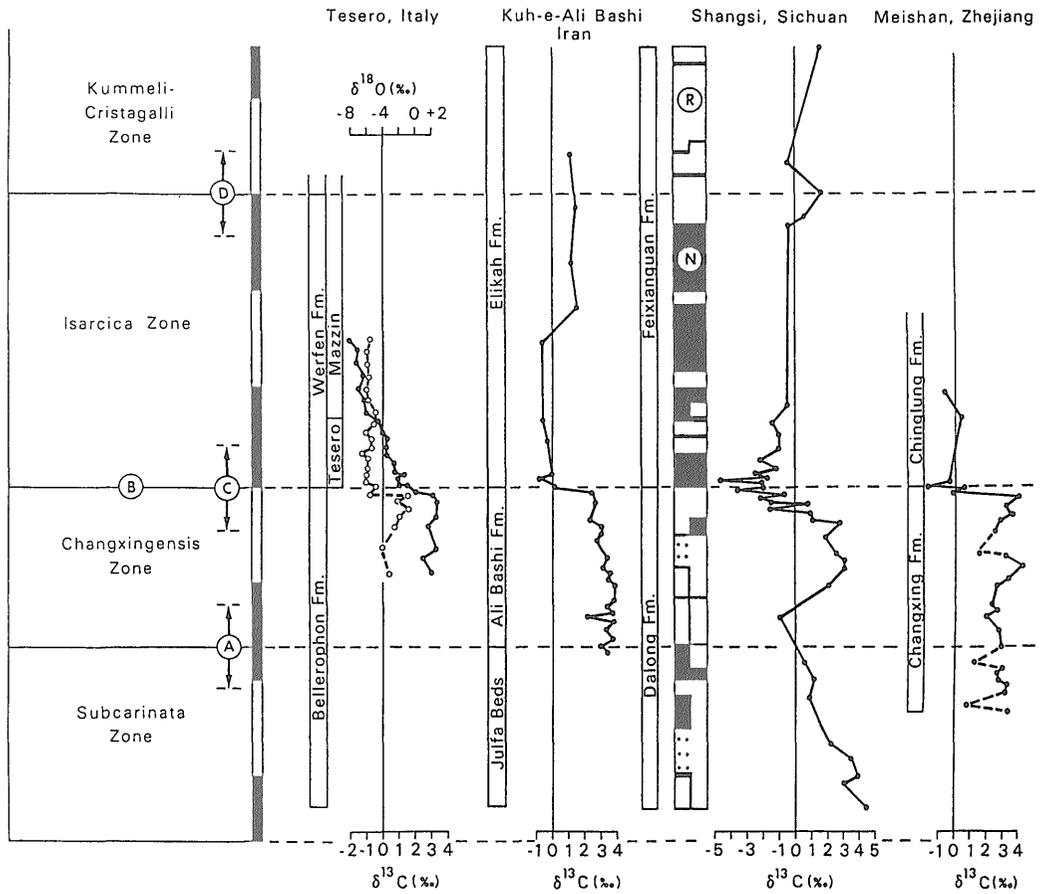


Fig. 12 Conodont-based chronozones, profiles of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ , and magnetostratigraphy for sections in the Permian-Triassic boundary interval. Reproduced from Sweet (1992); geochemical data from Magaritz *et al.* (1988; Tesero), Holser and Magaritz (1987; Kuh-e-Ali Bashi), Li *et al.* (1986; Shangsì) and Chen *et al.* (1984; Meishan), and Paleomagnetic profile for Shangsì section from Steiner *et al.* (1989).  $\delta^{13}\text{C}$ : —●—,  $\delta^{18}\text{O}$ : —○—

られる。最近鉱物学的に詳しく検討され、また化学分析も行われた結果、この粘土層は火山灰起源であることが明らかになった(楊ほか, 1991; Yin *et al.*, 1992)。四川省広元や浙江省長興の境界粘土層のIrその他の分析はXu *et al.* (1985)その他によりおこなわれK/T境界と同様小惑星衝突説で説明された。しかしZhou and Kyte (1988)やClark *et al.* (1986)によれば、著しい異常は認められず、火山活動で説明できるとされた。Chai *et al.* (1992)は火山活動と小惑星衝突の複合原因説である。 $\delta^{13}\text{C}$ の減少は境界粘土層より数10cm下に見られ、 $\delta^{18}\text{O}$ の大きい異常は境界粘土層中にある。従ってこの付近に地球化学的イベントが起こっていることは確かである。

以上のように、各地のP/T境界層における地球化学的分析結果は境界層中またはその直前に異常が観察されていることが多い。これが岩相境界と一致していることを考えると、境界層の下限すなわち混合化石層の基底にペルム/三畳系の境界を引くことがより合理的と結論できよう。これはDorashamian(またはChangxingian)/Griesbachian境界、すなわちParatiroilites(またはPleuronodoceras-Rotodiscoceras)/Otoceras concavum(またはHypophiceras spp.)境界であり、またNeogondolella changxingensis/Isarcicella? parva境界である。

文 献

- Assereto, R., Bosellini, A., Fantani Sestsini, N. and Sweet, W.C. (1973) The Permian-Triassic boundary in the Southern Alps (Italy). In Logan, A., Hills, L.V. eds., *The Permian and Triassic Systems and their mutual boundary. Canad. Soc. Petrol. Geol., Mem.* no.2, p.176-199.
- Bhandari, N., Shukla, P.N. and Azmi, R.J. (in press) Geochemical characteristics of the Permo-Triassic boundary in Spiti, Tethys Himalaya, India. *PALAEO, Proc. IGCP meeting of events markers in earth history, Calgary.*
- Bhatt, D.K., Johsi, V.K. and Arora, R.K. (1981) Conodonts of the *Otoceras* bed of Spiti. *Jour. Palaeont. Soc. India*, vol.25, p.130-135.
- Broglio Loriga, C., Goczan, F., Haas, J., et al. (1990) The Lower Triassic sequences of the Dolomites (Italy) and Transdanubian Mid-Mountains (Hungary) and their correlation. *Mem. Sci. Geol., Univ. Padova*, vol.42, p.41-103.
- and Cassini, G. (1992) The Permo-Triassic boundary in the Southern Alps (Italy) and in adjacent Periadriatic regions. In Sweet, W.C. et al. eds. *Permo-Triassic events in the Eastern Tethys*, Cambridge Univ. Press, p.78-97.
- , Neri, C. and Posenato, R. (1986) The early microfaunas of the Werfen Formation and the Permo-Triassic boundary in the Dolomites (Southern Alps, Italy). *Studi Trentini Sc. Naturali*, vol.62, p.3-18.
- Chai, C., Show, Y., Mao, X., et al. (1992) Geochemical constraints on the Permo-Triassic boundary event in South China. In Sweet, W.C. et al. ed. *Permo-Triassic events in the East Tethys*, Cambridge Univ. Press, p. 158-168.
- Chen, C-c. (1979) Marine Triassic lamellibranch assemblage from Southwest China. *Riv. Ital. Paleont.*, vol.85, p.1189-1196.
- Chen, J., Shao, M., Huo, W. and Yao, Y. (1984) Carbon isotope of carbonate strata at Permian-Triassic boundary in Changxing, Zhejiang. *Sci. Geol. Sin.*, 1984, p.88-93 (in Chinese with English abstract).
- Clark, D.L., Wang, C.Y., Orth, C.J. and Gilmore, J.S. (1986) Conodont survival and low Iridium abundances across the Permian-Triassic boundary in South China. *Science*, vol.233, p.984-986.
- Grant, R.E. (1970) Brachiopods from Permian-Triassic boundary beds and age of Chhidru Formation, West Pakistan. In Kummel, B. and Teichert, C. eds. *Stratigraphic boundary problems: Permian and Triassic of West Pakistan. Dep. Geol., Univ. Kansas Spec. Publ.* no.4, p.117-151.
- and Cooper, C.A. (1973) Brachiopods and Permian correlation. In Logan, A. and Hills, L.W. eds., *Permian and Triassic Systems and their mutual boundary. Canad. Soc. Petrol. Geol., Mem.* no.2, p.572-595.
- Grasmück, K. and Trümpy, R. (1969) Triassic Stratigraphy and general geology of the county around Fleming Fjord (East Greenland). *Medd. fm Grønland*, Bd.168(2), S.6-71.
- Holser, T. W. and Magatitz, M. (1987) Events near the Permian-Triassic boundary. *Modern Geol.*, vol.11, p.155-180.
- and 14 authors. (1989) A unique geochemical record at the Permian/Triassic boundary. *Nature*, vol.337, p. 39-44.
- , Schönlaub, H.P., Baoeckelmann, K. and Magaritz, M. (1991) The Permian-Triassic of the Garnerkofel-1

- core (Carnic Alps, Austria): Synthesis and conclusion. *Abh. Geol. B.A.*, vol.45, p.213-232.
- Iranian-Japanese Research Group (1981) The Permian and the Lower Triassic Systems in Abadeh region, Central Iran. *Mem. Fac. Sci., Kyoto Univ., Ser. Geol. & Mineral.*, vol.47, p.61-133.
- Italian Research Group (ed.) (1986) Permian and Permo-Triassic boundary in the South-Alpine segment of the Western Tethys. *Field Guidebook, IGCP Project 203*, Pavia, 180p.
- Kapoor, H.M. and Tokuoka, T. (1985) Sedimentary facies of the Permian and Triassic of the Himalayas. In Nakazawa, K. and Dickins, J.M. eds., *The Tethys - her paleogeography and paleobiogeography from Paleozoic to Mesozoic*. Tokai Univ. Press, p.23-58.
- Korchinskaya, M.B. (1982) Explanatory note on Mesozoic (Triassic) stratigraphic schem of Svalbard. *SEVMOAR-GEOLOGYA*, Leningrad, 99p. (in Russian)
- Kotljars, G.V. and Stepanov, D.L. eds. (1984) Main features of stratigraphy of Permian System in USSR. *Trans. Karpinsky all-Union Order Lenin Geol. Inst.*, N.S. vol.286, 280p. (in Russian)
- Kozur, H. (1972) Vorläufige Mitteilung zur Parallellisierung der germanischen und tethyalen Trias sowie Bemerkungen zur Stufen- und Unterstufengliederung der Trias. *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud.*, Bd.21, S.361-412.
- (1973) Beiträge zur Stratigraphie und Paläontologie der Trias. *Geol. Paläont. Mitt., Innsbruck*, Bd.3(3), S. 1-31.
- (1985) Biostratigraphic evaluation of the Upper Paleozoic conodonts, ostracods and holothurian sclerites of Bukk Mts. Part II: Upper Paleozoic ostracods. *Acta Geol. Hung.*, vol.28, p. 226-256.
- , Leven, E.Y., Pozovskiy, V.R. and Pyatakova, M.V. (1978) Subdivision of Permian-Triassic boundary beds in Transcaucasia on the basis of conodonts. *Bull. O-Ba. Isp. Prirody otd. geol.*, T.53(5), p.15-24. (in Russian)
- Kummel, B. and Teichert, C. eds. (1970) *Stratigraphic boundary problems: Permian and Triassic of West Pakistan*, Univ. Kansas, Dep. Geol. Spec. Publ.4, 454 p.
- 李子舜ほか8名 (1989) 川北陝南二疊-三疊紀生物地層及事件地層研究. 中国地質鈹産部專報, 9号, 435頁, 68図版(英文要約)
- Li, Z., Zhan, L., Zhu, X., Xie, L., Liu, G., Zhang, J., Jin, R., Huang, H., Dai, J. and Sheng, H. (1986) Mass extinction and geological events between Palaeozoic and Mesozoic. *Acta Geol. Sin.*, vol.60, p.1-15.
- Magaritz, M. (1989) <sup>13</sup>C minima follow extinction events: a clue to faunal radiation. *Geol.*, vol.17, p.337-340.
- , Bar, R., Baud, A. and Holser, W.T. (1988) The carbon-isotope shift at the Permian-Triassic boundary in the Southern Alps is gradual. *Nature*, vol.331, p.337-339.
- Matsuda, M. (1981) Early Triassic conodonts from Kashmir, India. *Jour. Geosci., Osaka City Univ.*, vol.24, p.75-108.
- Mojsisovics, E.V., Waagen, W. and Diener, C. (1895) Entwurf einer Gliederung der pelagischen Sedimente des Trias-Systems. *Sitzungber. Akad. Wiss. Wien.*, Bd.104(1), S.1271-1302.
- Murata, M. (1981) Late Permian and Early Triassic conodonts from Guryul Ravine, Kashmir. *Mem. Geol. Surv. India, Palaeontol. Indica*, N.S. vol.46, p.181-185, pl.21.
- Nakamura, K., Tazawa, J., and Kumon, F.

- (1992) Permian brachiopods of the Kapp Starostin Formation. In Nakamura, K. ed., *Investigations on the Upper Carboniferous-Upper Permian succession of West Spitsbergen 1989-1991*, Hokkaido Univ., Sapporo, p. 77-95.
- Nakazawa, K.(1992) The Permian-Triassic boundary. *Albertina*, vol.10, p.23-30
- , Kapoor, H.M., Ishii, K., Bando, Y., Okimura, Y., and Tokuoka, K.(1975) The Upper Permian and the Lower Triassic in Kashmir, India. *Mem. Fac. Sci., Kyoto Univ., Ser. Geol. & Mineral.*, vol.42, p.1-106.
- , Nakamura, K. and Kimura, G.(1987) Discovery of *Otoceras boreale* Spath from West Spitsbergen. *Proc. Japan Acad.*, vol.63, Ser. B(6), p.171-174.
- , Suzuki, H., Kumon, F. and Winsnes, T.S.(1990) Scientific results of the Japan Expedition to Svalbard, 1986. In Tatsumi, T. ed., *The Japanese Scientific Expedition to Svalbard, 1983-88*, Kyouikusha, Chapter 10, p.181-214.
- Newell, N.D.(1986) The Paleozoic/Mesozoic Erathem boundary. *Mem. Soc. Geol. Italy*, vol.34, p.303-311.
- Noetling, F.(1901) Beiträge zur Geologie der Salt Range, insbesondere der permischen und triassischen Ablagerungen. *Neu. Jb. Mineral. Geol. Pädnt.*, Bd.4, S.399-471.
- 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*, Tokai Univ. Press, p.221-312.
- Posenato, R.(1988) The Permian/Triassic boundary in the Western Dolomites, Italy. Review and proposal. *Ann. Univ. Ferrara, sez. Sci. Terra*, vol.1, p. 31-45.
- Rostovtsev, K.O. and Azaryan, N.R.(1973) The Permian-Triassic boundary in Transcaucasia. In Logan, A. and Hills, L.V. eds., *The Permian and Triassic Systems and their mutual boundary*. *Canad. Soc. Petrol. Geol., Mem.* no.2, p.89-99.
- Ruzhentsev, V.E. and Sarycheva, T.G. (eds.) (1965) *Evolution and change of marine organisms at the boundary between Palaeozoic and Mesozoic*. *Trudy Paleont. Inst.*, vol.117, 273p. (in Russian)
- Schindewolf, O.H. (1954) Über die Faunenwende vom Paläozoikum zum Mesozoikum. *Zeitsch. Deutsch. Geol. Gesel.*, Bd. 105, S. 154-183.
- Schönlaub, H.P. (1991) The Permian-Triassic of the Gartnerkofel-1 Core (Carnic Alps, Austria): conodont biostratigraphy. *Abhand. Geol. BA.*, Bd. 45, S. 79-98.
- Sheng, J., Chen, C., Wang, Y., et al. (1984) Permian-Triassic boundary in Middle and East Tethys. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. IV*, vol.21, p. 133-181.
- 盛金章・陳楚震・王義剛ほか(1987) 蘇浙皖地区二疊系和三疊系綫界研究的新發展. 中国科学院南京地質古生物研究所, 南京大学出版, 1-21頁.
- Steiner, M., Ogg, J., Zhang, Z. and Sun, S.(1989) The Late Permian - Early Triassic magnetic polarity time scale and plate motions of South China. *J. Geophys. Res.*, vol.94, p.7343-7363.
- Stepanov, D.L., Golshani, F. and Stöcklin, J. (1969) Upper Permian-Triassic boundary in North Iran. *Geol. Surv. Iran, Rep.*, no.12, 72p.
- Sweet, W.C. (1979) Graphic correlation of Permo-Triassic Rocks in Kashmir,

- Pakistan and Iran. *Geol. Palaeont.*, vol.13, p.239-248.
- (1992) A conodont-based high-resolution biostratigraphy for the Permian-Triassic boundary interval. In Sweet *et al.*, ed., *Permian-Triassic events in the Eastern Tethys. Stratigraphy, classification, and relation with the Western Tethys*. Cambridge Univ. Press, p. 120-133.
- Teichert, C. and Kummel, B. (1976) Permian-Triassic boundary in the Kap Stosch area, East Greenland. *Med. Øm Grønland*, vol.197, 54p., 16pls.
- , —— and Kapoor, H.M. (1970) Mixed Permian-Triassic fauna, Guryul Ravine, Kashmir. *Science*, vol.167, p.174-175.
- , —— and Sweet, W. (1973) Permian-Triassic Strata, Kuh-E-Ali Bashi, Northwestern Iran. *Bull. Mus. Comp. Zool., Harvard Univ.*, vol. 145, p.359-472.
- Tozer, E.T. (1961) Triassic stratigraphy and fauna, Queen Elizabeth Island, Arctic Archipelago. *Geol. Surv. Canada, Mem.* vol.316, 116p.
- (1967) A standard for Triassic time. *Geol. Surv. Canada, Bull.* vol.156, 103 p.
- Trümpy, R. (1969) Lower Triassic ammonites from Jameson Land (East Greenland). *Medd. Øm Grønland*, vol. 168, p. 78-116.
- Tschernyschew, T. (1902) Die obercarbonischen Brachiopoden des Urals und des Timan. *Comité géol. Russie, Mem.* t. 316, p.1-116, pl.1-30.
- Vu Khuc *et al.* (1965) Characteristic fossils of Triassic in North Viet-Nam. *Central Geol. Dept. RDV*, 77p, 19pl. (in Vietnamese)
- Waagen, W. (1879) Salt Range fossils. I. Productus-limestone fossils. *Palaeont. Indica*, ser.13 (1). Pisces-Cephalopoda, p.1-72.
- (1895) Salt Range Fossils. II. Fossils from the Ceratite Formation. *Palaeont. Indica*, ser.13 (2), p.1-323.
- 王義剛 (1984) 論蘇、浙一帶三疊紀最早期的菊石群及二疊-三疊系界綫的定義. *古生物學報*, 23卷(4), 257-269頁.
- Wang, Y., Chen, C., Rui, L. *et al.* (1989) A potential global stratotype of Permian-Triassic boundary. *Devel. Sci., Chin. Acad. Sci., Contr. 28th IGC*, 1989, p.221-228.
- Waterhouse, J.B. (1976) World correlation for Permian marine faunas. *Univ. Queensland Papers, Dept. Geol.*, vol. 7, 232p.
- and Gupta, V.J. (1986) A significant new Permian athyrid brachiopod from the uppermost Gungri Formation (Kuling or Productus shale) at Spiti, and its implications for classification and correlation. *Bull. Indian Geol. Assoc.*, vol.19, p.45-56.
- Wyne, A.B. (1878) On the geology of the Salt Range in the Punjab. *Geol. Surv. India, Mem.*, vol. 5, 313p.
- Xu, D-Y, Ma, S-L., Chai, Z-F, *et al.* (1985) Abundance variation of iridium and trace elements at the Permian/Triassic boundary at Shangsi in China. *Nature*, vol.314, p.154-156.
- 楊遵義・吳順寶・殷鴻福ほか (1991) 華南二疊-三疊系過渡期地質事件. 地質出版社, 183頁, 6圖版.
- Yang, Z. and Li, Z. (1992) Permian-Triassic boundary relations in South China. In Sweet *et al.* eds., *Permian-Triassic events in the Eastern Tethys. Stratigraphy, classification, and relation with the Western Tethys*. Cambridge Univ. Press, p.9-20.
- Yin, H. (1985) On the transitional bed and the Permian-Triassic boundary in South China. *Newslet. Stratigr.*, vol.15, p.13-27.
- , Huang, S., Zhang, K., *et al.* (1992)

- The effects of volcanism on the Permo-Triassic mass extinction in South China. In Sweet *et al.* eds., *Permo-Triassic events in the Eastern Tethys. Stratigraphy, classification, and relations with the Western Tethys*, Cambridge Univ. Press, p.146-157.
- , Yang, F., Zhang, K. and Yang, W. (1986) A proposal to the biostratigraphic criterion of Permian/Triassic boundary. *Mem. Soc. Geol. Italy*, vol. 34, p.329-344.
- Zakharov, Yu. D. (1971) *Otoceras boreale* province. *Palaeont. Jour.*, 1971, no.3, p.50-59.
- 趙金科・盛金章・姚兆奇ほか(1981) 中国南部的長興階和二疊系与三疊系之間的界綫。中国科学院南京地質古生物研究所叢刊, 2号, 85頁, 15図版。(付英文要約)
- Zhou, L. and Kyte, F.T. (1988) The Permian-Triassic boundary event: a geochemical study of the three Chinese sections. *Earth & Planet. Sci. Letter*, vol. 90. p.411-421.

(受付: 1993年1月11日; 受理: 1993年6月8日)