

ヒマラヤの海とその消滅—その2

中嶋輝允(鉱床部)

Terumasa NAKAJIMA

1. もうひとつの海—ヒマラヤの地向斜

先カンブリア紀～始新世のヒマラヤの海成層はすでに述べたようにインド橋状地北縁の浅い海に堆積したものであった。それは大陸棚性堆積物(epicontinental deposits)またはプラットフォーム性堆積物ともいうべきもので大陸地殻を基盤としてその上に堆積したものである。

こうした堆積物はヒマラヤを越えて北のチベット高原まで続いているとかっては考えられていた。つまりこの地域のテチス海とはそのような浅い海の拡がりともなされていたのである。しかしヒマラヤの北側の調査が進むにつれてそうでないことが次第に明らかになってきた。

1) シガツェ・フリッシュとオフィオライト

1960年代後半の中国によるエベレスト北側の調査は

この事実を初めて明らかにした。それによるとヒマラヤの大陸棚性堆積物はエベレストなどヒマラヤの主稜部の北側約100kmまで分布するがそれから北ツェンポー川までの約50kmの間には南のものとは全く異なる堆積物の分布することが分った(図1)。それは二畳・石炭紀および中生代の地向斜性フリッシュ堆積物でなかでも中生代の地層は単調な砂泥互層からなり塩基性火山岩・放射虫チャートなどを挟んでいる¹⁾。地層は厚くとくに上部白亜系シガツェ層群では6,000～7,000mに達することが分った。

フリッシュの堆積環境は大陸斜面・コンチネンタル・ライズまたは深海扇状地・海溝・大洋底の一部などである。泥岩と互層する砂岩はタービダイトでそれは大陸棚上に堆積した陸源碎屑物が一種の地じりと泥流(乱泥流)によって移動し深海の平坦地や凹みに再堆積したものである。したがってヒマラヤの北側におけるフリッシュの存在はインド橋状地北縁の大陸棚のさ



写真1 悠久の大地インド。しかしそこには世界でも稀なはげしい地殻変動の歴史があった。

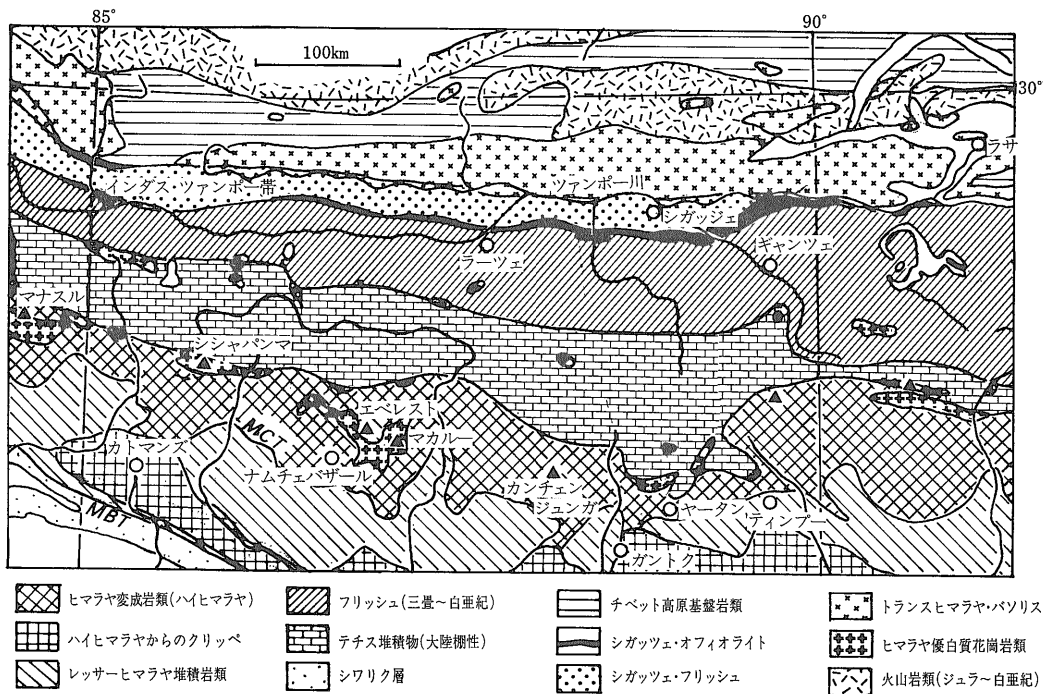


図1 ヒマラヤからチベットへの地質区分.

らに北側に大陸斜面～大洋底に至る深海のあったことを示している(図9)。

フリッシュ帯の北部 ツェンポー川に沿う地域には前述の上部白亜系 シガツェ層群(シガツェ・フリッシュ)が分布しているが この地域には また 超塩基性岩や枕状熔岩などからなる オフィオライト(シガツェ・オフィオライト)が分布している。ヒマラヤ全体としてみた場合 このようなフリッシュとオフィオライトからなる細長い帯が ツェンポー川からインダス川上流にかけてみられ インダス・ツェンポー・オフィオライト帯として知られる。これは地形的にも地質的にもヒマラヤとチベットを分ける境界となっている。この境界の北側には チベット高原の南を縁どるようにトランスヒマラヤ山脈が走り そこには後期白亜紀～古第三紀の花崗岩類(トランスヒマラヤ・パソリス)や火山岩類が分布している。

シガツェ・オフィオライトはインダス・ツェンポー・オフィオライト帯の中で 幅約10km 長さ90kmの東西に伸びた狭い帯として分布する。この帯の南北の境界は衝上断層で オフィオライト帯の中にも多くの衝上断層がある。シガツェ・オフィオライト全体の断面は断層で切られた不完全な断面をいくつかつなぎ合わせるによって得られる。それは図2のようになり 下から上へ(南から北へ) (1)ハルツバージャイト レール

ズライト (2)塩基性岩シート状岩脈・岩床 輝緑岩シート状岩脈群 (3)玄武岩枕状熔岩 (4)赤色マンガン質皮殻 (5)赤色放射虫チャート・赤色～緑色頁岩互層 (6)縞状白色放射虫チャート 褐色～灰色～緑色火山碎屑性堆積物の各岩相が重なり さらに最上部に(7)フリッシュが重なる断面となる。なお シート状岩脈と枕状熔岩は化学組成から大洋底ソレイトの性質を示す。

このような岩相の重なりは ガプロ層の発達が悪いという点をのぞくと 海洋地殻に考えられているものとはほぼ一致しており シガツェ・オフィオライトがかつての海洋地殻であったことを示している。枕状熔岩上の放射虫チャートの放射虫化石の示す年代は 後期ジュラ紀～中期白亜紀なので シガツェ・オフィオライトについては海洋の始まりが後期ジュラ紀までさかのぼれることを示す。一方 シガツェ・オフィオライトは漸新世～中新世の礫岩層によって不整合に被われている。礫岩にはオフィオライトの礫が含まれ かつ礫岩の堆積前後には著しい地殻変動の跡がある。つまり 上記の海洋は著しい地殻変動とともに漸新世以前に消滅したのである。

シガツェ・フリッシュの中にはいくつかのオリストストローム帯が認められている⁴⁾。オリストストロームはシルト質頁岩または珪質頁岩を基質として その中に直径数cm～数100mの大きささまざまな岩塊を有する。

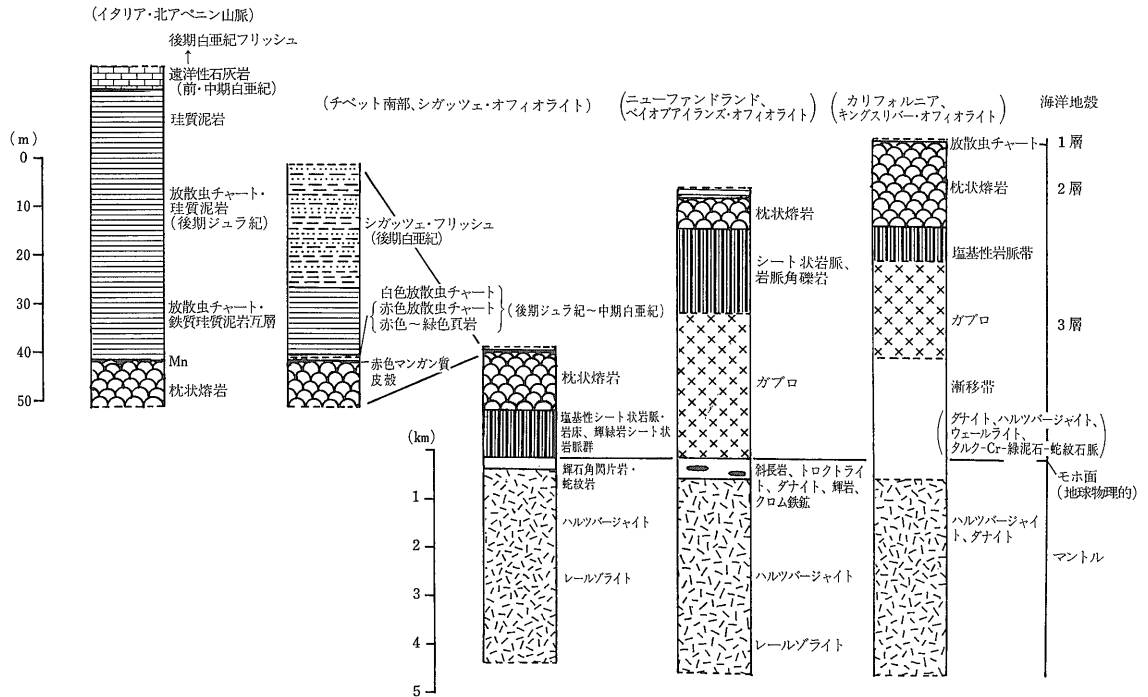


図2 チベット南部 シガツェ・オフィオライトの断面.^{2),3)}

岩塊の種類は多様でチャート 玄武岩 石灰岩 砂岩などがある。いずれのオリストストロームもオフィオライト帯の南側に分布し 全体としては層状で 上下の正常な地層に挟まれて 特定の層準に産する。上下の正常な地層は深海性で 岩塊をなす放散虫チャートや玄武

岩は明らかに北側のオフィオライト帯から来たものである。シガツェ・フリッシュ中のオリストストロームの存在は 厚いフリッシュ層や近くのオフィオライト・遠洋性堆積物などとの関係から過去における海溝あるいはサブダクション帯の存在を予想させるものである。

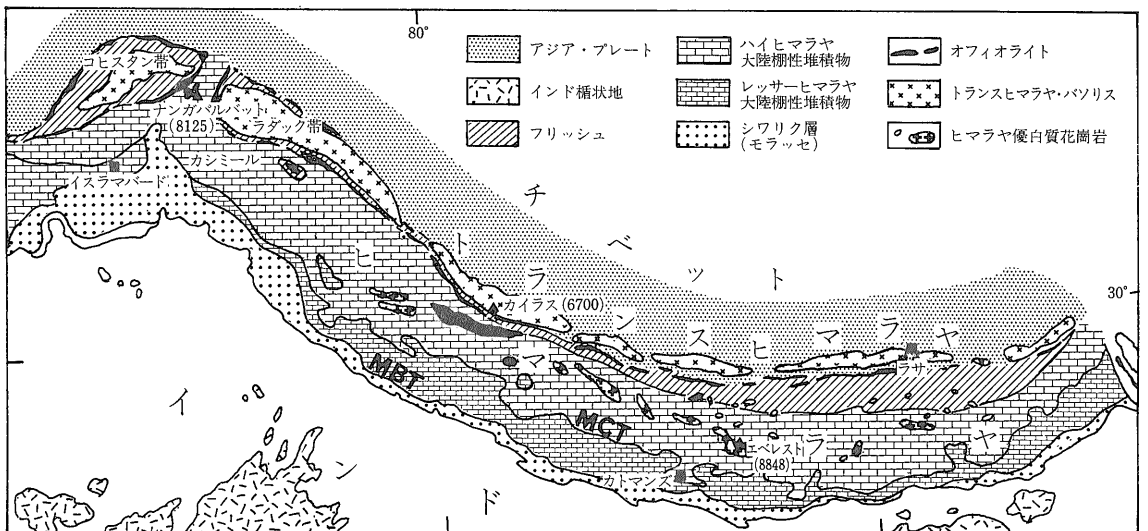


図3 インダス・ツァンポー帯のオフィオライトの分布。

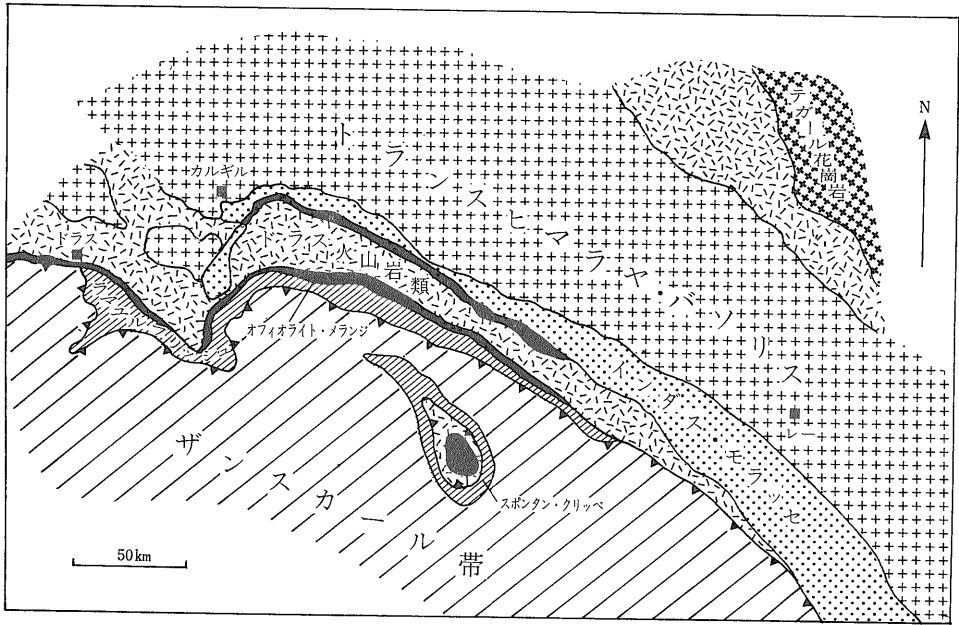


図4 ラダックのインダス・オフィオライト帯⁶⁾

中国の研究者の中にもそう考える人が多い。

こうして ヒマラヤ北側 インダス・ツァンポー帯の東部ではヒマラヤの海は南部の大陸棚と北部の大陸斜面～大洋底から成っていることが明らかになった。この状況はインダス・ツァンポー帯の西部でも同じである。

ただその大洋底は東部とは次に述べるように少し異なる点もあった。

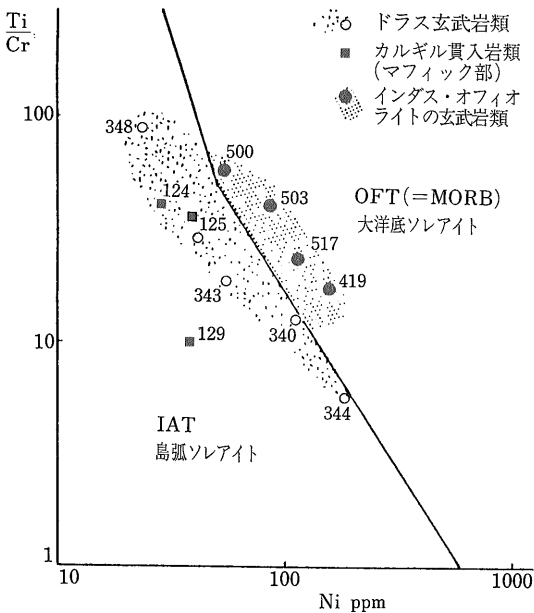
2) ラマユル・フリッシュとインダス・オフィオライト

インダス・ツァンポー帯のオフィオライトはその西部において北西インド～北パキスタンのカシミール地域に入るとトランスヒマラヤ・パソリスの間にはさんで南北の2帯に分かれる(図3)。北帯(Northern Suture)のさらに北側はカラコルム・パソリスの分布域 南帯(Indus Suture)の南側はハイヒマラヤ帯である。間のトランスヒマラヤ帯はさらに中部のナンガパルバット-ハラモシュ山塊によって東西に分断され 東側のラダック帯と西側のコヒスタン帯に分れる。つまり それぞれ延長300km程度の小さな単元に細分される。

ラダック帯では 小チベットといわれるラダックのインダス川北岸に沿って主に花崗閃緑岩からなるラダック・パソリスが分布する。その南にはインダス・モラッセ(後期始新世～中新世の碎屑岩類) インダス・オフィオライト帯(南帯) ザンスカール帯(ハイヒマラヤ帯)が順を追って分布する(図4)。

インダス・オフィオライト帯は 三畳紀～ジュラ紀のラマユル・フリッシュ タービダイト性火山碎屑岩 ドラス火山岩類(ジュラ紀～後期白亜紀) オフィオライト・メランジなどを含み その構造は複雑である。このうち ラマユル・フリッシュはタービダイトを含む遠洋性

図5 Ti/Cr-Niダイアグラム⁶⁾



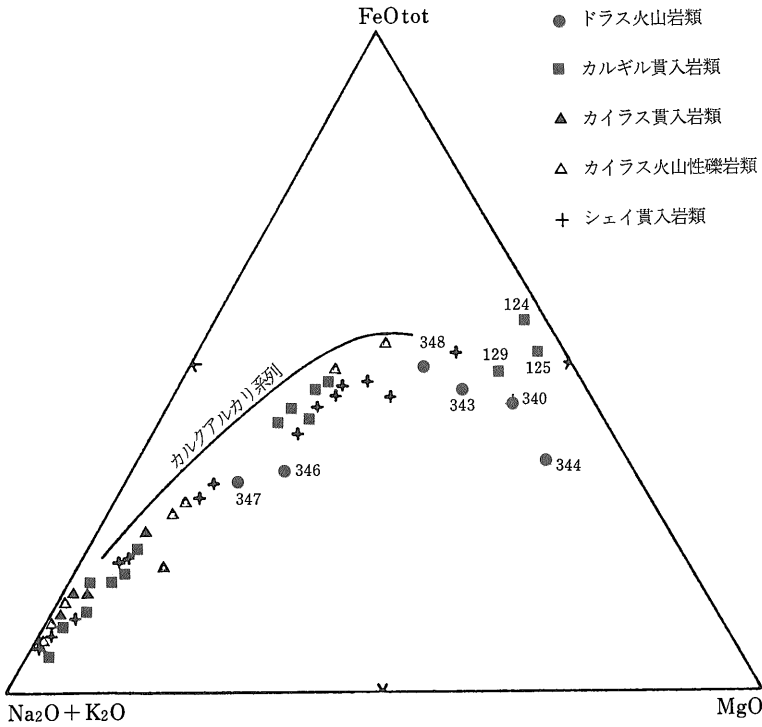


図 6
トランスヒマラヤ火山岩・深成
岩類のAFMダイアグラム⁶⁾。

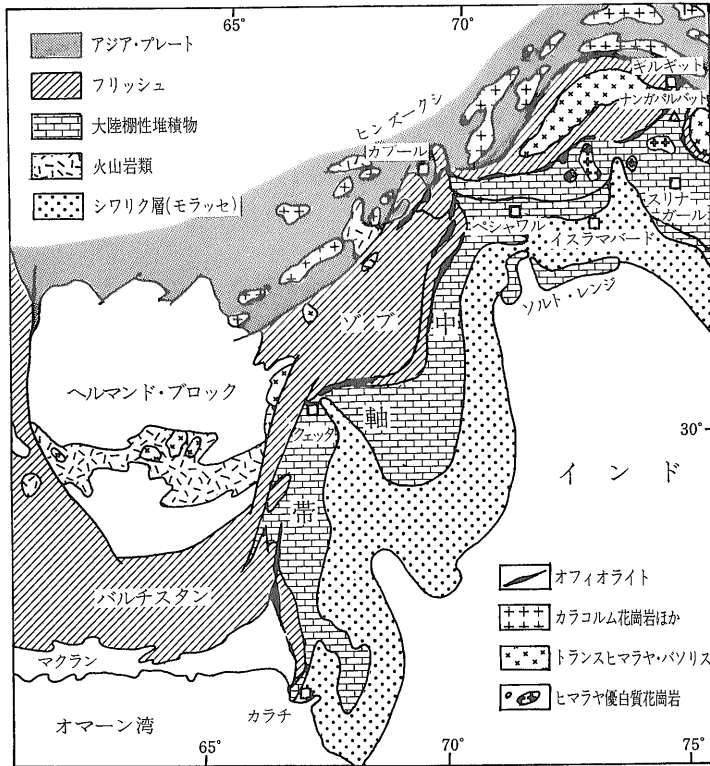


図 7 パキスタン中軸帯のオフィオライトとフリッシュ。

～コンチネンタル・マージンの堆積物である。ラマヌル・フリッシュ中には南のザンスカール帯に由来する岩塊が含まれているので、その堆積環境はハイヒマラヤの地層が堆積した大陸棚の北側に続く大陸斜面～大洋底と考えられる。

インドス・オフィオライト帯のオフィオライト・メランジは橄欖岩 ガブロ 玄武岩枕状熔岩 放散虫チャート(後期ジュラ紀)からなる。玄武岩枕状熔岩はソレアイトで その化学組成は MORB に近似する(図5)。すなわち これらのオフィオライトもシガツェ・オフィオライトと同じ過去の海洋地殻の一部とみなされる。また海洋の始まりもシガツェ・オフィオライト同様後期ジュラ紀までさかのぼれる。

インドス・オフィオライトの特徴はドラス火山岩類の存在である。それは主に玄武岩 石英安山岩熔岩と火山砕屑岩 ドレライト岩床からなるが その鉱物・化学組成は島弧ソレアイトあるいはカルシウムアルカリ系列火山岩に等しい(図6)。ドラス火山岩類はラダック帯中にも分布

し ラダック・バソリスによって貫入される。

一方 ラダック・バソリスはインダス・モラッセによって不整合に被われるのでその貫入の時期は後期白亜紀～後期始新世である。放射年代としては36～74Ma (K-Ar, 多くは黒雲母) および 50～60 Ma (Rb-Sr, 全岩) の値が得られており大きな矛盾はない。図6に示されるように ラダック・バソリスもドラス火山岩類同様にカルク・アルカリ系列に属する。

このように ラダック・バソリスとドラス火山岩類はその活動期が少し前後するものの周囲を海洋地殻に囲まれたその分布形態や岩石の性質からみて 大洋中の島弧の存在を推測させるに十分であろう。

ラダック帯西方のコヒスタン帯も同様の岩石から構成されていることが最近明らかになった。そこでは 島弧の断面は下部からチラス層状コンプレックス(ノーライト・ノーライト質ガプロ・含層状クロム鉄鉱ダナイト)→トーナライト・閃緑岩のプルトン(102±12Ma Rb-Sr)→チャルト火山岩類(玄武岩質ソレライト・安山岩・流紋岩)→ヤシン層群(オーブ階～アプト階:前期白亜紀末)が順に重なっている。

こうした断面を形成する岩石にコヒスタン・バソリスが貫入している(40～54Ma, Rb-Sr)。このバソリスはラダック・バソリス同様カルクアルカリ系列のもので 同じくカルクアルカリ系列の火山岩・堆積岩(ディル・ウトロル層群 始新世)によって被われる。コヒスタン帯について特記すべきことは 南帯のインダス・オフィオライト帯に沿って 青色片岩

(後期白亜紀)の分布することである。青色片岩の産出は 上述のようなトランスヒマラヤ・バソリスおよび火山岩類の活動期や岩石学的特徴とともに かってアジア大陸の縁をなしていたトランスヒマラヤの下にテチス海の海洋地殻がサブダクトしていた可能性を示している。

3) インド亜大陸東西のフリッシュとオフィオライト

インド亜大陸の西方 パキスタン西部のクエッタからカラチの西にのびるほぼ南北の山地には パキスタン西部の地質を東西に区切る中軸帯がある。この中軸帯には 白亜紀のフリッシュとオフィオライトの帯がある。それは 北へ向ってパキスタン・アフガニスタン国境の

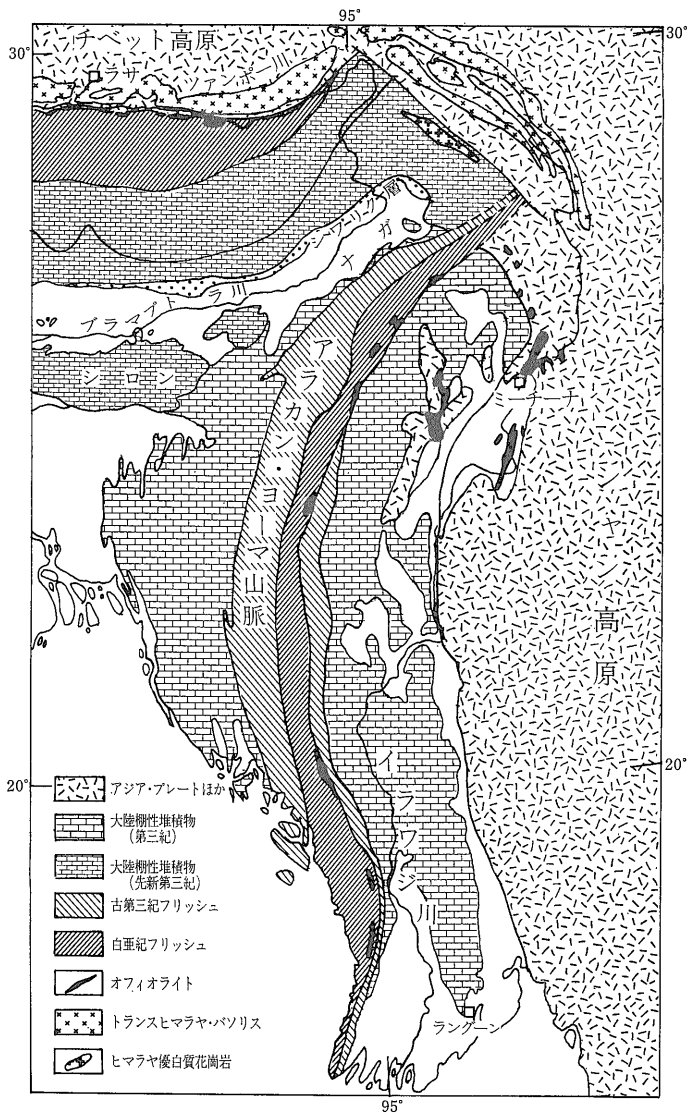


図8 アラカン・ヨーマ山脈のオフィオライトとフリッシュ。

カイバー峠付近まで続き そこから東に向って屈曲し ペシワール北部を通ってナンガルバットに至り その東方は前述のインダス・オフィオライト帯に連続する(図7)。

パキスタン中軸帯の西側ゾブおよびバルチスタン地方には始新世のフリッシュが幅広く分布する。その西方は アフガニスタン南部の大陸地殻をもつヘルマンド・ブロックとなる。これはヒマラヤ北方のチベット高原に相当する。このブロックからバルチスタン北部にかけて白亜紀～第4紀の火山岩類が卓越している。

バルチスタン地方のフリッシュはさらに西へ続き イラン東南部のマクラン地方のフリッシュ帯に至る。マ

クラン地方のフリッシュは始新世の厚い地層からなり 安山岩質火山岩を含んでいる。また このフリッシュ帯には後期白亜紀のオフィオライトが含まれる。マクラン地方のフリッシュは 北側では大陸地殻からなるルート・ブロックに向かって浅海性堆積物へと変ってゆく。ルート・ブロックもまたヘルマンド・ブロックと同様にチベット高原に対応するものである。

インド亜大陸の東方では インドとビルマの国境をなすアラカン・ヨーマ山脈がパキスタン中軸帯に当り そこにフリッシュとオフィオライトが分布する(図8)。このフリッシュ(白亜紀~古第三紀)はアラカン・ヨーマ山脈に沿って南北に細長く分布しその東と西の山麓には大陸棚性堆積物が分布する。アラカン・ヨーマ山脈の東側はジャン高原となりこれは大陸地殻からなる。アラカン・ヨーマ山脈のフリッシュ・オフィオライト帯は北側でNW-SE系の断層で切られるが もとはインダス・ツェンポー帯に連続していたと考えられる。

こうして フリッシュとオフィオライトの帯は西はパキスタン中軸帯やその西側から 北のインダス・ツェンポー帯を通して東のアラカン・ヨーマ山脈まで インド亜大陸を西から東へと囲むように延々と続く。その北側には ルートやヘルマンド・ブロック ヒンズークシ パミール高原 カラコルム ラダック チベット高原 ジャン高原など内陸アジアの高原地帯が位置している。

インド亜大陸をとり囲むインダス・ツェンポー帯のフリッシュとオフィオライトの年代は その多くが白亜紀~始新世である。フリッシュは一般に厚く オフィオライトと密接に結びついている。古典的な言い方をすれば それらは地向斜の一典型—優地向斜の堆積物ということになる。現存の知識では それらは海洋地殻上の堆積物であり あるものは大陸斜面~大洋底や海溝の堆積物とみなせるであろう(図9)。

インダス・ツェンポー帯の現在の幅は 北側で約15~40km 西のパキスタンで50~250km 東のアラカン・ヨーマ山脈で30~130kmである。この間の総延長は6,000kmにも達する。しかし このままではインド亜大陸をとり囲むかっの海洋は著しく細長いものとなる。実際にはフリッシュ・オフィオライト帯の地層は強く褶曲しているので それを元の状態まで引き伸ばすと海の幅は現在のものの数倍に広がるであろう。しかし 次の項で述べるように 全く別の種類のデータはその幅がはるかに規模の大きかったことを示している。つまり 今の大洋に匹敵する海がヒマラヤの北方に広がっ

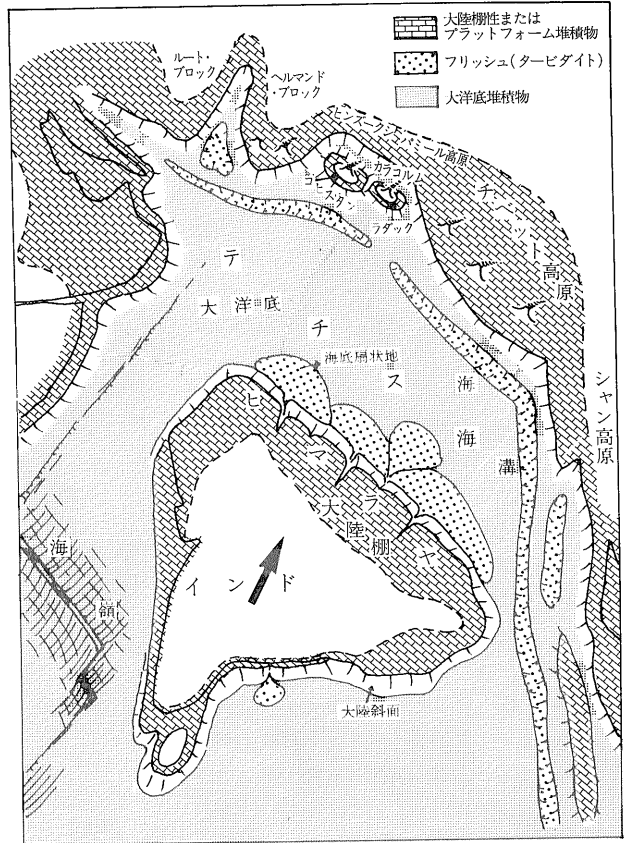


図9 後期白亜紀のテチス海とインド亜大陸周囲の堆積環境。

ていたのである。

2. インド洋の拡大とテチス海の消滅

ここで目をヒマラヤからインド亜大陸の南に広がるインド洋に転じてみよう。インド洋の歴史は 海洋底に数多く存在する海嶺や破砕帯などの海底地形や海嶺に平行に走る磁気異常 あるいは深海底ボーリングなどをもとにかなり詳しいことが分ってきた。インド洋には現在3つの海嶺がある。それらは インドとアフリカの間を通して オーストラリアと南極大陸の間にぬける 中央インド海嶺と南東インド海嶺 およびアフリカと南極大陸の間を通して前記の2つの海嶺につながる南西インド海嶺である(図11)。これらの海嶺がインド洋の発生とその拡大の歴史を解く鍵となる。

磁気異常の縞は海洋底拡大の重要な証拠である。海嶺の中軸に次々と誕生する新しい海洋底は 誕生時の地球磁場の方向を記録して海嶺の両側に追っ出されてゆく。それは海洋底拡大の大きさとその速度についての情

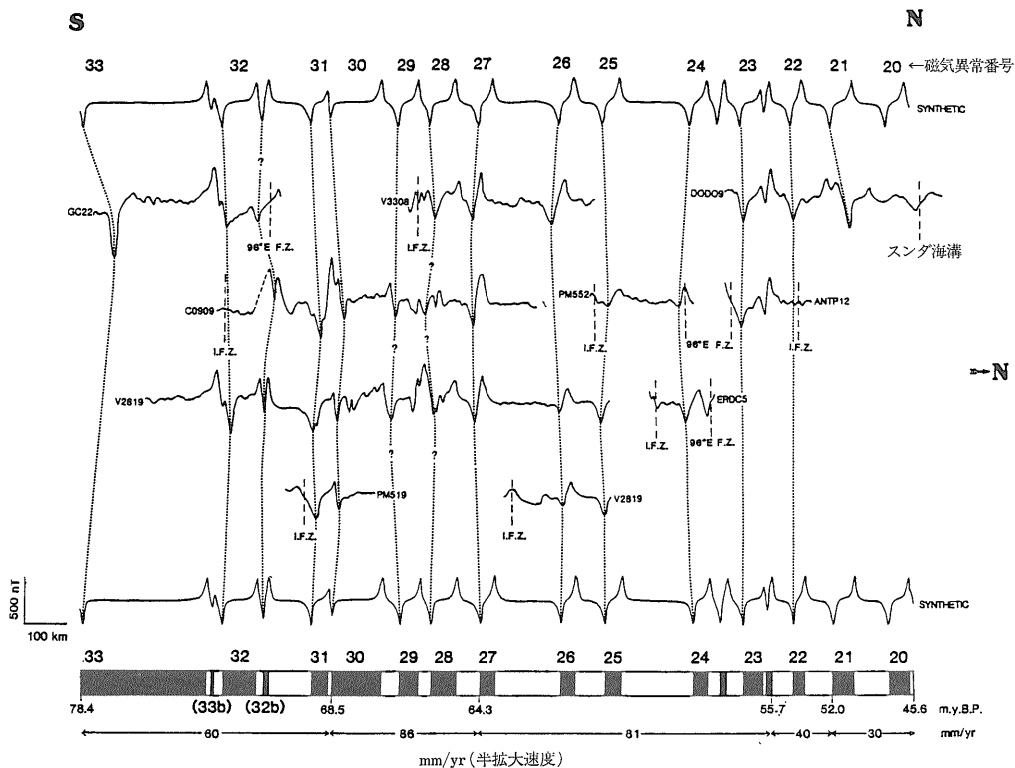


図 10 インド洋東部の磁気異常図. 96°E 破砕帯付近.⁸⁾

報をもたらす。インド洋の各海嶺の両側の磁気異常の縞は 大西洋の中央海嶺の磁気異常の縞と詳しく対比されている。それぞれ番号が与えられ それらが海嶺の中軸で誕生した時の年代が定められる(図10)。このような磁気異常の縞は 各大陸の分離やその間の海洋底の拡大の様子を復元するのに役立つ。最近の磁気異常の研究では インド洋の歴史は次のような3つの大きな出来事を節目としてまとめられることが分ってきた。

- (i) ゴンドワナ大陸東部の分裂
- (ii) 第1回インド洋プレートの再編成(オーストラリア・南極大陸の分離)
- (iii) 第2回インド洋プレートの再編成(インド・アジア大陸の衝突)

ここでは こうした節目の事件を中心にインド洋の歴史をみてみよう。

1) ゴンドワナ大陸の分裂とインド洋の発生

大陸の分裂または海洋底の拡大開始の時期は 中央海嶺からもっとも離れた位置 すなわち大陸にもっとも近い位置に存在するはずの もっとも古い磁気異常の縞の

発見によって決まる。けれども 大陸近くの海洋底は大陸からの陸源物質によって厚く被覆されることが多く また大陸における造構運動の影響も受けやすい場所である。そのため 古い磁気異常の縞は発見しにくい。大陸分裂の時期がしばしば修正されるのはこのことによる。

インド洋最古の磁気異常の縞は中生代のもので それはアフリカ東岸とマダガスカル間のモザンビーク海峡にある M-0~M-22 の番号をもつ縞および同じくアフリカ東岸のソマリ海盆の M-0~M-21 アフリカ・南極海盆の M-1~M-10 などである(図11)。これらの縞は 番号が大きいものほど古く 例えばモザンビーク海峡とソマリ海盆の M-21 M-22 など最古のものはジュラ紀末に誕生したものである。したがって アフリカとマダガスカルの分離に始まるゴンドワナ大陸東部の分裂はこの時期までさかのぼることができる。

インドとオーストラリア あるいはアフリカと南極大陸の間の最古の縞は M-10 または M-11 で その年代は 127Ma である。この時期にこれらの大陸が分離を始め同時にインド洋全体の拡大が始まった。この時期はまた南大西洋の拡大開始期ともほぼ一致する。すなわち

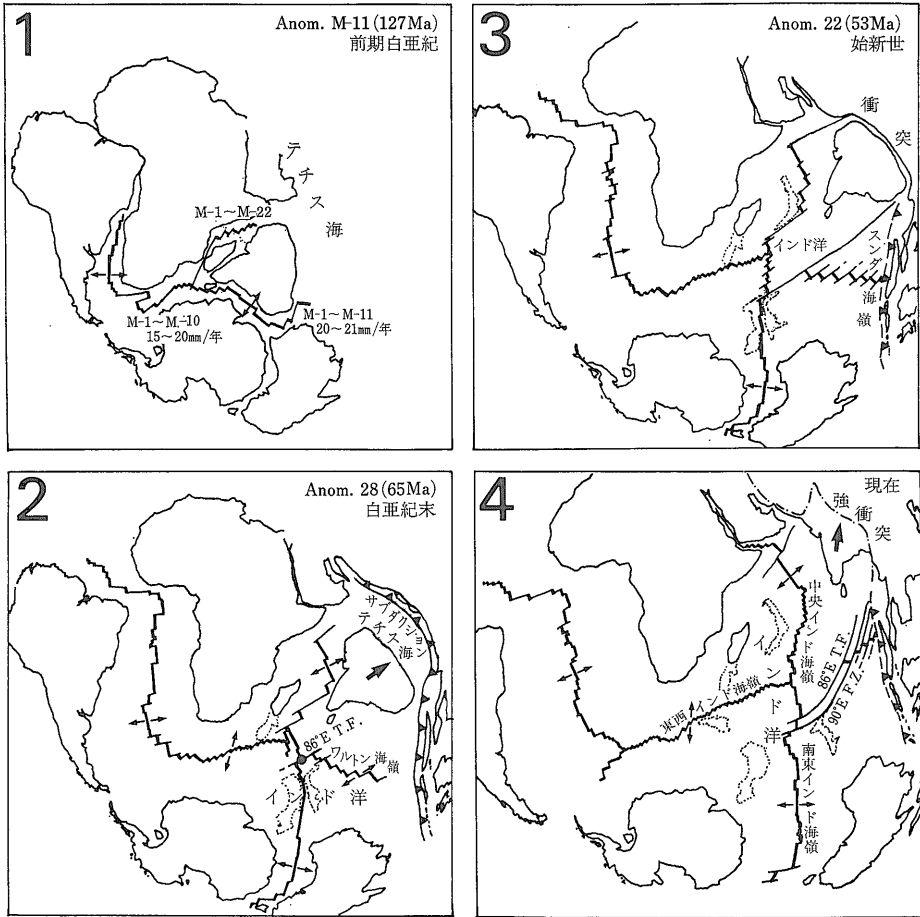


図 11 インド洋の拡大とテチス海の消滅の歴史

ゴンドワナ大陸全体の分裂が白亜紀中期に始まったのである (図11).

2) 第1回インド洋プレートの再編成

最初のゴンドワナ大陸の分裂は アフリカ 南米 インド+マダガスカル オーストラリア+南極大陸の4つの大陸への分裂によって始まった. アフリカ東岸からインド+マダガスカルの分離は やがてアフリカ+マダガスカルとインドの間の分離に変わってゆく. また オーストラリアと南極大陸の分離がこれに加わる. その時期は Anom. 34 形成の直前 すなわち約 82Ma の直前の出来事である.

この時のオーストラリアと南極大陸の分離速度は遅く 2×4.5mm/年である. 両大陸間に生じたインド・南極海嶺はやがてインドとオーストラリア+南極大陸を分けていた中央海嶺と交わることになる. その位置は破砕帯 86ETF の場所にあったと考えられ ここにインド

オーストラリア 南極大陸の3つのプレートの交わるトリプル・ジャンクションが形成された.

こうして 新しい海嶺の出現はそれまでのインド洋のプレートの再編成を生じることになる. その後 (後期白亜紀以降) インド亜大陸は 2つの海嶺のエンジンによって 80~130mm/年 (半拡大速度) という猛スピードで北上を開始することになる. この速度は大西洋の 19mm/年 (Anom.32~22) 北太平洋の約 47mm/年などに比べて異常に大きい値である.

3) プレートの停止 (始新世) と大陸の衝突

後期白亜紀から始新世にかけて速いスピードで北へ拡大していたインドプレートは Anom. 22 に至って急速にスピード・ダウンあるいはプレートの運動が停止した. その時期は 54Ma 前後すなわち始新世の初期に当る. とくに インド・プレートの東半分は Anom. 20 (約45.6Ma) の形成直後に完全に停止した. インド・

プレートの東半分とは この時期までにはインドとオーストラリアの間の海嶺(ワルトン海嶺)によって拡大していた部分である。また インド・プレートの西半分は拡大方向が北東へと変わった。

インド洋の拡大の結果 インド-南極両大陸は1万kmの距離を隔てて離れてしまう。これは もしもインド亜大陸北方のアジア大陸が移動しなかったと仮定すればインド亜大陸とアジア大陸の間の海 すなわちテチス海がインド亜大陸の北上に伴って次第に狭まっていくことを意味する。

ここで先に述べたインド亜大陸北縁のヒマラヤの話の思い出してみよう。ヒマラヤの堆積岩から描かれるテチス海の歴史は正にこの時期—始新世において閉じる。テチス海は始新世をもって消滅したと推定される。このことはインド洋が同じ時期に拡大速度を下げたことや停止したことと無関係ではない。それはむしろ密接に関係している。インド亜大陸の北上とテチス海の縮小は始新世に至って終いにインド亜大陸とアジア大陸の接触(衝突)を引き起し その結果テチス海の消滅と大陸同志の衝突に伴うインド洋の拡大速度低下や停止を生じたと考えられるからである。

4) 第2回インド洋プレートの再編成

インド亜大陸とユーラシア大陸の衝突後インド洋は再び拡大を始める。しかし その時は衝突以前とは状況がかなり変っている。拡大を開始するためには北のインド亜大陸とともにその北に接したアジア大陸をも動かさねばならない。そのためにはまず海嶺の拡大力のパワーアップが必要である。そこで拡大を停止したワルトン海嶺に代って オーストラリアと南極大陸の間の海嶺の拡大速度が徐々に増加を始める。その結果 Anom. 19 (45Ma)の時期にはインド・南極大陸間の海嶺とオーストラリア・南極間の海嶺は完全にひとつにつながり現在のような中央インドおよび南東インド海嶺を形成しこの海嶺によって新たな拡大が始まった。また インド・オーストラリア・南極大陸のトリプル・ジャンクションは消え オーストラリア・プレートとインド・プレートは合体してひとつのプレートとなったのである。

この新しい海嶺系の形成が2回目のインド洋プレートの再編成である。新しい海嶺による拡大でインド・プレートの東部はスندا海溝の下にサブダクトしてゆく。これは古い海嶺となったワルトン海嶺のサブダクトをも伴った。一方 インド・プレートの中央部はインド亜大陸がアジア大陸に接する部分に当り ここにはインド洋の拡大力によって強裂な力が作用することになる。インド亜大陸の北縁は強く圧縮され その結果一大褶曲山

脈—ヒマラヤ山脈—が出現することになる。インド亜大陸北縁は強衝突(hard collision)の場になったのである。

3. ヒマラヤ造山へ

大陸間の衝突は実はヒマラヤ地域に限られた現象ではない。同じような時期に 西はヨーロッパからバルカン トルコ イラク イランを経てヒマラヤに至る広大な地域が北と南の大陸の衝突の場となった。それは南の Gondwana 大陸がアフリカ アラビア インドなどの各大陸に分裂して北のユーラシア大陸に衝突した結果でもある。これらの大陸の衝突は アルプスからヒマラヤに至る大山脈や高原地帯を形成した。今回は強衝突によって引越される数々の地質学的現象—それは従来造山運動という言葉でまとめられるが—について述べよう。

文 献

- 1) MU, A., WEN, S., WANG, Y., CHANG, P. and YIN, C. (1973) Stratigraphy of the Mount Jolmo Lungma region in southern Tibet, China. *Sci. Sinica*, **16**, 96-111.
- 2) 周震生 吳浩若 鄭錫瀾 王東安 張旗 李達周 張新民 (1982) 西藏南部日喀則地区蛇綠岩地質. 地質科学, 第1期, 30-40.
- 3) Pozzi, J. P., WESTPHAL, W., GIRARDEAU, J., BESSE, J., ZHOU, Y. X., CHEN, X. Y. and XING, L. S. (1984) Paleomagnetism of the Xigaze ophiolite and flysch (Yarlung Zangbo suture zone, southern Tibet): latitude and direction of spreading. *Earth Planet. Sci. Lett.* **70**, 383-394.
- 4) 王連城 (1982) 西藏南部的滑塌堆積. 地質科学, 第2期, 201~206.
- 5) SCHÄRER, U., HAMET, J. and ALLÈGRE, C. J. (1984) The Transhimalaya (Gangdese) Plutonism in the Ladakh region: a U-Pb and Rb-Sr study. *Earth Planet. Sci. Lett.* **67**, 327-339.
- 6) HONEGGER, K., DIETRICH, V., FRANK, W., GANSSER, A., THÖNI, M. and TROMMSDORFF, V. (1982) Magmatism and metamorphism in the Ladakh Himalayas (the Indus-Tsangpo suture zone). *Earth Planet. Sci. Lett.* **60**, 253-292.
- 7) PETERSON, M. G. and WINDLEY, B. F. (1985) Rb-Sr dating of the Kohistan arc-batholith in the Trans-Himalaya of north Pakistan, and tectonic implications. *Earth Planet. Sci. Lett.* **74**, 45-57.
- 8) LIU, C. S., CURRAY, J. R. and McDONALD, J. M. (1983) New constraints on the tectonic evolution of the eastern Indian Ocean. *Earth Planet. Sci. Lett.* **65**, 331-342.