インド・パンジャール平原と北部タール砂漠の 地形学的研究

成瀬 敏 郎*

A Geomorphological Study of the Punjab Plains and the Northern Part of the Thar Desert in India

Toshiro NARUSE

Abstract

The author made a geographical field survey in Northwestern India as a member of the research team organized by the University of Hiroshima during the period from September 1972 to January 1973.

The purpose of this paper is to elucidate the geomorphic history, tectonic movement and the sequence of climatic changes in the Punjab Plains and the northern part of the Thar Desert.

The results obtained may be summarized as follows:

1) The three physiographic divisions of alluvial plains are based on the characteristics of the surface features: dissected piedmont plain, alluvial upland and alluvial lowland (Fig. 1). The alluvial lowland is divided into two geomorphic units: active flood plain and abandoned flood plain. Abandoned flood plain is developed parallel to the river courses and is three metres higher than the active flood plain. It is often inundated by high floods. The alluvial upland is bordered by steep scarps, with relative heights of 1.5-12 metres above abandoned flood plain. Radiocarbon date on fossil shells suggests that the dissection of the alluvial upland has taken place within at most the last 4,000 years.

2) The flat alluvial plains of the Punjab in India have been formed by the deposition of the Indo-Gangetic alluvium, of which maximum thickness amounts to 300 metres above the basal rocks of the Siwalik Systems. The alluvial complex of the Pleistocene and Holocene age consists of fine to coarse sand, silt and clay. The recognition of paleosols and calcium carbonate deposits (*kankar*) allows the classification of the alluvial complex into three formations, which are upper, middle and lower alluvium.

The rate of sedimentation of alluvial deposits are estimated at 0.25-0.33 mm per year in Ludhiana district in the Punjab Malwa. The upper formation may be correlated with the Holocene based on this calculation (Table 1). The fossil shells mentioned above in the clay (UCL) of the upper formation constituting a top layer of alluvial upland give a radiocarbon date (GaK-5838) of $4,300 \pm 150$ years B.P. Radiocarbon dating

* 広島大学文学部地理学教室 Department of Geography, Faculty of Literature, University of Hiroshima

appears to support this calculation.

3) Deformed alluvium shows the folded structure with the axis of NW-SE direction about 40 km in length parallel to the axis of folded structure of the Siwalik Hills in the Punjab Malwa and Bist *doab*. It seems that this tectonic movement has been continuous since the middle Pleistocene. It may be evidence for the tectonic movement that the distribution of saline soils and drainage patterns of Whitebein River coincide with the axis of cryptosyncline.

4) Riverine sand dunes are extensively distributed on the alluvial upland in the Punjab Malwa. These riverine sand dunes were formed along the channel scars of the Sutlej River. On the other hand, sand dunes develop very seldom in the Kurukshetra Plain. This may reflect the difference in geology of the drainage areas in the upper reaches of the Sutlej and the Yamuna River.

The distributional patterns of sand dunes and channel scars show the following: the Sutlej River has been shifting toward NW direction and Yamuna River shifting toward SE direction. As a result of the shifting of the river course of the Sutlej or the Yamuna, Kalibangan and the other settlements in the Indus Culture along the abandoned river course deserted about 3,700 years ago. These shiftings may be caused by the tectonic movement in the Punjab Malwa and the Kurukshetra Plain. The riverine sand dunes are divided into two systems: fixed sand dunes and active sand dunes. The active sand dunes have been formed on the fixed sand dunes by modern cultivation since the 19th Century. The buried animal bone which was exhumed from a buried trench cutting into the fixed sand dunes gives a radiocarbon date (N-2233) of 435 ± 115 years B.P. This fixed sand dune is overlain the active dune sand 3 metres thick.

It is easy to distinguish the riverine dune sand from desert dune sand. Mean diameter of riverine dune sand is ranging from 2.0 to 2.4, while desert dune sand ranging from 3.0 to 3.4.

5) The Thar Desert is divided into two areas by the isopleth of 200-250 mm of annual precipitation. Large scale active sand dunes are seen in the area with an annual rainfall less than 200-250 mm, human impact notwithstanding. In the area more than 200-250 mm, it is seen that, by human impact, active sand dunes of a small scale with shapes of barchan and transverse are in the process of formation around the settlement.

The fixed sand dune area of over 200-250 mm is distributed into the three systems of sand dune: active, fixed and fossil sand dunes.

The sequence of dune formation can be proposed as follows:

Fossil sand dunes were formed under the condition of cold-aridity during early Holocene. Paleosols on the fossil sand dune contain charcoal, animal bones, bricks and earthen wares. It may have been formed approximately between 9,000 and 3,500 years ago under the condition of wet climate. Thereafter, the climate became arid again, causing the formation of the huge sand dunes. This was followed by the less arid condition which brought about the development of paleosols on these dunes. Cultivation in more recent time has brought about the formation of active sand dunes.

I. 緒 言

本研究は、昭和47年9月から翌48年1月末にわたってインド北西部において実施された広島大学インド・パンジャブ地域調査（隊長石田 寛）の一環として行ったものである。

インド北西部には、ヒマラヤ造山運動の最も新しい活動を物語るシワリク丘陵が、平原との比高200～400m、北西—南東方向に細長く連なり、その南には本調査地域である広大なパンジャブ平原が広がる。インダス水系に属するパンジャブ平原は、古来「五河の地」として知られた地域で、300mにも達する厚い沖積層が堆積する平原上は、19世紀まで開析山麓平野や沖積低地を除いては大部分が未耕の荒地であった。今日、用水路灌漑や高収量品種など近代的諸投入財の導入により、「緑の革命」が進行中の地域としても知られている（応地、1975）。

パンジャブ平原の南、年降水量400mm、マルトンヌの乾燥指数12の線以南はタール砂漠である。乾燥農業を主体とするタール砂漠のなかにあつて年降水量300～400mmの緑辺部地域、ルニ河流域のごとく塩分の少ない地下水賦存地域では動力式管井戸を主体とした灌漑がすすんでいる。なお砂漠中心部でもラジャスタン用水路にみるように大規模な灌漑工事が進行中である（口絵2参照）。

このような用水路建設をはじめとする平原、砂漠の開発は、19世紀以来様々な問題を引起した。地下水位の急激な上昇、土壌の塩性化、砂丘間低地の土地条件の劣悪化、飛砂の害、土壌侵食など農地を壊滅させた例は枚挙にいとまがない。こうした事態に対処するため、自然環境の研究、殊に平野の微地形、土壌、砂丘形成営力などの基礎的な研究がすすめられている。

II. 問題の所在

パンジャブ平原、タール砂漠において筆者はビストドアブ、パンジャブマルワ、クルクシュトラ平野とそれにつづくタール砂漠の北部を調査した。この報告では、これらの地域を中心に次の2点に重点をおいて述べたい。

1. ヒマラヤの隆起が第四紀初頭になつて激しくなり、それに伴つてシワリク丘陵でも最終氷期以後、比高にして約80m隆起した事実(HAYASHI, 1975)がある。一方これとは対照的に沈降をつづける前縁沈降部のうちでは、基盤まで最も浅いパンジャブ平原において地殻運動が平原の地形にどのように反映されているのか。殊にそれが河道変化とどうかかわっているのか。河岸に立地したインダス文明期の都市が後の河道変化によつてその立地条件を根底から揺がされたといわれている(PITHAWALLA, 1952)。

2. 中緯度高圧帯にある乾燥地域で報告されている完新世の気候変化が本地域ではどのような形で認められるのか。

III. インド・パンジャブ平原の地形と沖積層

1. パンジャブ平原の地形

インダス河下流部のBahawalpurに求心的に集まるジェラム、チェナブ、ラビ、ビラス、サトレジ各河川の間に発達する河間平野 *doab* は、西からタル、チャジ、レチュナ、パリ、ビスト各ドアブと呼ばれる。サトレジ河とヤムナ河間の平野は、その中央を流れるガガル河をはさんで北西側がパンジャブマルワ¹⁾、南東側がクルクシュトラ平野と呼ばれる。このうちインドパンジャブとはバリドアブの北部、ビストドアブ、マルワ、クルクシュトラ平野を指している(Fig. 1)。

広大なパンジャブ平原はその広大さにも拘らず、開析山麓平野、沖積台地、沖積低地といった単調な3地形の組合せからなる。この単調な起伏を破るのは、DelhiからチャジドアブのKirana間の埋没隆起帯に沿う *ophiolite* の孤立丘陵と旧河道に沿って発達する河畔砂丘群である。

平原はサトレジ河とインダス河の合流点を中心とした同心円状の等高線で描かれる。また平原の東西断面をとると沖積層下の基盤の深度に一致するように(ROY, 1963)西に低く東にむかうにつれて高度を増

Fig. 1 Geomorphological map of the Punjab Plains* and dune patterns in the Thar Desert.

* Geomorphological map in Pakistan Punjab Plains after GREENMAN, D. W. *et al* (1967). contour interval 50 feet. Datum is mean sea level.

し、ガンジスーインダス両水系の分水界のクルクシュトラ平野で最も高くなる。

開析山麓平野

シワリク、ソルト両丘陵の麓に形成され、幅30km、傾斜は1.5‰と沖積台地の0.45‰に比較して急である。開析山麓平野は合流扇状地状の等高線の配列を示し、雨季に流れる潤れ川 *cho* の発達が顕著であるため、*cho-land* とも呼ばれる。赤色土がのり、沖積台地面に連続する台地面と、これを数メートル刻み

込んで網状流河川の流れる氾濫原が発達する。涸れ川は山麓平野の末端で消滅する。堆積物は大河川沿いでは一般に砂礫質で粗粒であるが、大河川の堆積の及ばない地域、例えば Hoshiarpur では砂層を介する厚さ10m 以上の粘土が堆積する。山麓平野末端部は塩性土の分布する湿地を形成している地域が広い。

沖積台地²⁾ *bar*

沖積低地とは比高1.5~12m の崖で限られる。標高900 feet (274 m) から緩やかに南西側に低くなり、標高約400 feet (121 m) で砂漠に接する。

西端のタルドアブは縦列砂丘の発達著しく、これらは更新世に形成された古砂丘とされている。(HIGGINS *et al.* 1973, 1974)。その形成期はタール砂漠の砂丘に比較してみるとかなり古いものであるらしい。マルワにも砂丘の発達が顕著である。

台地上は塩性土の分布する極く浅い谷とそれに連続する深く広い旧河道がみられ、雨季の自然排水路になるとともに灌漑排水路がここに設けられることが多い。沖積台地は従来古期沖積土 *bangar* の堆積する更新世中期に形成された台地と考えられてきた(WADIA, 1961, MUKERJI, 1963, HIGGINS *et al.* 1974)。しかし本調査地域では後述するように明らかに沖積台地最上部層は、完新世の堆積物である。従って比高1.5~12m の台地化は、完新世の出来事としてとらえられる。なお中部更新統は、前縁沈降部にあたるパンジャープ平原では地表には露出しておらず、むしろ地下に埋没しているものと考えたほうが合理的である。

沖積低地

旧氾濫原 *bhet*

氾濫原と約3m 程度の比高があり、夏季に降水量が多いと洪水の被害を受ける。耕地、集落が分布し、19世紀までは主にイスラム教徒による溢流灌漑 *sailab* 小規模用水路灌漑 *abi*、井戸灌漑 *chai* など灌漑農業が営まれ、古くから開発されていた(応地, 1975)。しかしサトレジ河とビラス河合流点付近のように塩性土の分布する荒地も広く、遊水地の機能を果してきた。バリドアブには幅50km もの旧氾濫原が発達し、そこには旧河道も多くみられ、なかでも1786年までビラス河の本流であった旧河道が長さ200km にもわたって追跡できる。砂丘の発達も顕著である。

氾濫原

乾季には流量が極端に減少し、中州と沼沢地が広がる。平均幅は約20km、局地的に河床を20m も掘り込んでおり、沖積台地との間に最大30m の垂直崖が発達する。

2. インドパンジャープ平原の地形と沖積層

(1) 地形の概要

インドパンジャープの北部バリドアブ、ビストドアブ、マルワ、クルクシェトラ平野の地形は、Fig. 2 の等高線にも示すように、標高1,100 feet (335 m) から550 feet (167m) までの間に前述の3地形が発達する。なかでもマルワ、クルクシェトラ平野は沖積台地が広く、サトレジ、ヤムナ両河の平原への入口を頂点とする扇状地状の等高線が描かれる。それは、両平野とも台地化する以前には、サトレジ河がマルワを、ヤムナ河がクルクシェトラ平野を流れ、沖積していたことを示している。その証拠として、両平野とも夥しい旧河道と旧河道に沿って発達する河畔砂丘が認められる。台地化は、後述するように上部粘土層(UCL)の堆積後であり、完新世の出来事として理解される。

沖積低地は、サトレジ、ビラス両河川沿いに発達し、幅10~15km、台地との比高はサトレジ河で1.5~12m、乾季の河床との比高18m である。一般に上流側ほどその比高が大きくなることは、ヒマラヤ山地側の隆起を反映しているものとみてよい。

(2) 沖積層の区分

長さ2,500km、最大幅250km の規模をもつヒマラヤ前縁沈降部に形成されたガンジス平原、パンジャープ平原には、シワリク層上にある沖積層(陸成堆積物)が厚く堆積し、その層厚は最大2,000m にも達す

Fig. 2 Contour map of Punjab Plains in India. contour in feet.

る。その厚さの変化はプレカンブリアの基盤の地形とほぼ一致し、北部に厚く南部に薄い。沖積層の基盤となるニマドリ層は下位のムレー層と上に重なるシワリク層の二層からなる。ムレー層は中新世前期、シワリク層は中新世中期から第四紀更新世前期の地層と考えられている（山下，1973）。

前縁沈降部にあつて、インダス水系とガンガ水系との分水界にあたるインドパンジャブ平原は、沖積層が200~300mと相対的に薄い。沖積層の基盤は北東に向つて 1° ~ 3° 傾斜しており、従つて沖積層も北部に厚く、南部に薄くなる。即ちシワリク丘陵に近い Hoshiarpur では、地表下 300m で厚さ 3000m 以上のシワリク層となる。ここから南西にむかつて漸次浅くなり、Jullundur で 202.5 m、さらに南西の Ferozepore 近くの Zira で 195m で、ここでは 718m 以深は片麻岩となる。この Ferozepore 以南の地域は、1956年に空中磁気測量で明らかになった Delhi-Ferozepore-Kirana 間の北西—南東方向にのびる埋没隆起帯にあたつており、基盤が浅くなると考えられている。

従来沖積層は、WADIA により古期沖積層 *bangar* と新期沖積層 *khadar* に区分されてきた。古期沖積層とは厚い炭酸カルシウム集積層を介在し、沖積台地を構成する堆積物であり、中部更新統に対比された。また新期沖積層は沖積低地の構成層で、炭酸カルシウム集積層は薄く完新世の堆積物とされている。

しかし前にも述べたようにこの沖積層の区分は本調査地では適用できず、新しい層序区分が必要である。そのために炭酸カルシウム集積層³⁾あるいは古土壌を鍵層として深井戸用の108本の試錐資料を分析した結果、次のような層序が組立てられる (Table 1)。

Table 1 Stratigraphic sequences in Indo-Punjab Plains and Northern Thar Desert

Indo-Punjab		fauna	Northern Thar Desert	culture
Holocene	Upper alluvium	active flood plain deposit	eolian sand	-4,000 years Indus civilization microlith
		abandoned flood plain deposit	<i>Viviparus</i> sp. <i>Indoplanorbis</i> sp. <i>Allopeas</i> sp. <i>Gyraulus</i> sp. <i>Lymnaea auricularia</i> Linnaeus <i>Paludinella</i> (<i>Cyclotropis</i>) sp.	
		paleosol	<i>Subzebrinus</i> sp. <i>Indoplanorbis</i> sp. <i>Paludinella</i> (<i>Cyclotropis</i>) sp.	
		clay (UCL)	<i>Parreysia</i> sp.	
		fine sand (UFS)		
U. Pleistocene	Middle alluvium	paleosol (desert soil)		
		fine sand (MFS)		
		paleosol (desert soil)		
		coarse sand (MCS)		
		clay (MCL)		
M. Pleistocene	Lower alluvium			
L. Pleistocene	U. Siwalik	Lower boulder Cg.		
		Pinjor zone		
		Tatrot zone		

沖積低地堆積物

氾濫原堆積物

シワリク丘陵から約35km 下流付近まで礫質で、それより下流は砂質、シルト質となる。炭酸カルシウムの含有率は極く少ない。

旧氾濫原堆積物

基底に細砂、上部は粘土で厚さは7～15m である。貝化石として粘土層中に *Viviparus* sp. *Indoplanorbis* sp. *Allopeas* sp. *Gyraulus* sp. *Lymnaea auricularia* Linnaeus *Paludinella* (*Cyclotropis*) sp. が含まれる。表層には薄い土壌と薄い炭酸カルシウム集積層 *bajri* が形成されている。

沖積台地堆積層

上部粘土 (UCL), 細砂層 (UFS)

沖積台地を構成する最上部の層で厚さは平均約3m, 下部は細砂 (UFS), 上部はシルト粘土層 (UCL) で、両者は整合関係にある。台地の崖端付近では激しい土壌侵食のため流亡し、厚い石灰質集積層が直接

地表に露出している。粘土層中には *Parreysia* sp. の貝化石があり、その絶対年代は $4,300 \pm 150$ y.B.P. (GaK-5838) であり上部粘土、細砂層は完新世の堆積物である。粘土層の最上部に古土壌⁴⁾ (5 YR 4/4) が形成され、(Ca 層が顕著に発達しない土壤断面は現在のシワリク丘陵に近い年降水量 1,000mm 前後の環境の下で形成されたことを示している (SEHGAL and STOOPS 1972)。

中部沖積層

中部細砂 (MFS)

最大層厚 2.5m のカンカールおよび古土壌 (5 YR 4/4) をはさんで上部層の下位に細砂層が堆積する。厚さ 6 ~ 15m, 最上部には薄い粘土層がみられる。

中部粗砂層 (MCS)

薄い土層を介在する礫まじり粗砂層で、層厚に変化が大きく、厚い地域で 47m, 薄い地域で 15m である。後述するように向斜部で厚く背斜部で薄い。

中部粘土層 (MCL)

厚さ 12m 以上で固結し、粘性が高い。19世紀の灌漑水路建設ではこの層が不透水層となり、上位の中部粗砂層が滞水層となっていた。従って当時の地下水位はこの中部粘土層深度に規定されており、現在の深井戸用の試錐もこの粘土層で打切っている。

下部沖積層

厚さ約 150m の下部層はカンカール層を数多くはさみ、砂礫を主体とした層でシワリク丘陵の麓では礫が多くなる。局所的に赤色粘土層を介在するが、水平方向への連続性に乏しい。試錐の資料が少なく詳細な点は不明である。

3. 沖積層の堆積速度と編年の試み

更新世中期以後ヒマラヤ前縁沈降部に堆積した沖積層は最大 2,000m と見積られている。ちなみに中期更新世以後の沖積層の堆積速度を算出してみると最も大きいもので $2,000\text{m}/6 \sim 8 \times 10^5$ 年であるから、年 $2.5 \sim 3.3\text{mm}$ の堆積が行われたことになる。一方、インドパンジャブでは Jullundur で沖積層の厚さ 200m であり、その堆積速度は $0.25 \sim 0.33\text{mm}/\text{年}$ と最も大きい地域の約 $1/10$ の速度である。

なお、前述のように Jullundur で地表下 1.3m から得られた貝化石の絶対年代が 4,300 年前のものであるので、 $1.3\text{m}/4,300$ 年となり、その堆積速度は $0.3\text{mm}/\text{年}$ である。この速度は上記の堆積速度とほぼ一致している。従ってこの値は妥当性のあるものといえる。

次にこの堆積速度から逆に各地層の堆積に要した時間を求めると、Jullundur で上部層 UCL, UFS の厚さが平均 3m であるので、 $9,900 \sim 12,000$ 年とほぼ完新世に堆積したと考えられる。

これに従って中部粘土層までの深さが平均 25m であるので、それに要した時間は 7.5 ~ 10 万年であり、それは上部更新統に対比され、下部沖積層が中部更新統に対比できるのではないかと考えられ、予察的な編年表 (Tab. 1) を示した。本格的な編年対比は今後の課題である。

4. 沖積層の変形と推定される地殻運動

上記の区分に従ってマルワの Ropar-Ludhiana-Ferozepore 間約 190km の地形・地質断面を示したのが Fig. 3 である。この図に表わされた中部沖積層の変形は波長約 40km の褶曲構造を呈していると推定される。即ち中部粘土層の深度が Ludhiana 及び Ferozepore で浅く、Shahkot, Samrala で深くなるのは、その変形によるものと考えられ、下部ほど変形量は大きく、上部ほど小さい。

一方シワリク層下の基盤の地形は Fig. 4 に示すように、全体としては、インダス・ガンガ両河川の分水界付近に最も高く、北西側にしだいにその深度を増しているが、もう少し詳しくみるとインドパンジャブでは、Delhi-Ferozepore-Kirana を主軸とする埋没隆起帯と Batala-Ludhiana-Jullundur にかけてのびる向斜域が識別される。さらに後者の向斜域は Ludhiana-Jullundur を通り、北西-南東方向にのびる基盤の浅い地帯によつて北東側と南西側の 2 つの向斜状沈降地域に分かれている (SINHA *et al*,

Fig. 3 Longitudinal section across the Punjab Malwa. location of section is shown in Fig. 4

1963)。

このように基盤の構造と中部沖積層の変形とは調和的な関係にあるといえる。

このような沖積層にみられる変形は、パンジャブ・マルワでは Fig. 3 の地形断面には明瞭には表われていない。しかしサトレジ河をはさんでビストドアップになると明瞭に地形断面及び微地形に表現されている。これは藤原 (1975) がすでに指摘しているように、ビストドアップの小河川 White bein の流路方向や塩性土壌の分布、地下水位の異常分布などに認められる。

White bein は、シワリク丘陵から流れる涸れ川 (cho) の水を集めてサトレジ川に合流する小河川である。White bein の上流域の向斜域にあたる地域では、向斜軸方向の北西—南東方向に約 2.5~3 km 間隔で支流もあわせ 5 列の河川が平行して流れ、約 40 km 流れたあと合流し、Jullundur 近くで最大傾斜方向に流下する。

地下水位は、大規模灌漑水路建設により、そ

の水文学的循環が大きく変化し、用水路からの漏水と灌漑耕地からの浸透によつて地下水貯留量が急増し、非常に高くなった。従つて、沖積層の地質構造に規制されていた地下水位も、用水路建設後は、ほとんど無関係になり、むしろ地表の微地形や用水路の位置的関係によつて決定されるようになっている。したがつて、詳細に観察すると表層地質のわずかな違いによつて地下水位に変化がみられ、それは特に乾季に明瞭あらわれてくる。1963年10月の地下水等深線図は、ビストドアップでは Jullundur の背斜地域で地下水位が深く、向斜地域で浅い。この事実、最大傾斜方向に自由地下水の流下を妨げるような表層地質

Fig. 4 Geological structure in the Punjab Plains, India.
ground water level (1963, Oct.)

構造に原因があるとされている(藤原, 1975)。従つて地下水位の高い地域に分布する塩性土がこの向斜地域に沿つて帯状に分布していることもその反映であろう。

沖積層の変形や地表面の微起伏から推定される褶曲構造は、沖積層下のシワリク層の地質構造とも一致すると思われる。また white bein にみられる水系の異常などの現象は、中部更新統を褶曲させた運動が完新世にも行なわれていることを示している。一つの褶曲軸に沿つて、地層の変形が一般に下位ほど大きいこともこの考えに符合している。

5. 河道変化

パンジャブ平原における主な河道変化には、インダス文明期の都市ハラツパが立地したラビ河が北西へ約10km 移動したのをはじめ、歴史時代にもビラス河が1786年に約40km 東に移動して現在の河道になったこと、1562年チェナブ河とジェラム河が Uch でインダス河と合流していたこと、チェナブ河が1245年以前は Multan の東を流れていたこと、1397年チェナブ河が現在の河道に変化したこと、(ROONWAL, 1967) などが知られている。

パンジャブの多くの旧河道のなかで最も注目されるものは、マルワの南西部に幅2~3 km, 長さ約400km にわたる長大な旧河道であろう。

ガガル河の末端はタール砂漠にかかるあたりから、尻無川となつて消失するが、この旧河道はその下流延長上に認めれるところから GHOSE, A. (1952) らによつてガガル河涸河床と呼ばれている。この旧河道の両岸には STEIN (1942) によつてインダス文明期および彩文灰色陶器期の無数の遺跡丘が発見されている。この遺跡群の中でインダス国家の重要な宿駅だった Kalibangan (小西, 1970) は紀元前2,200~1,700年にかけて発達し、その終末の年代はインダス平原の他の古代都市とほぼ一致している。RAIKES (1968) は、この旧河道を古典「リグヴェーダ」に記載の Sarasvati 河に比定している。彼はこの河が、ガンガ水系に属するヤムナ河の旧河床と考えた⁹⁾。

ところで、この旧河道の上流域にあたるマルワ、クルクシュトラには多くの旧河道が認められる。Fig. 2 に示すように、マルワには最大比高12 m の河畔砂丘⁷⁾ の発達が顕著である。この砂丘の基部には、*Zooteucus insularis*, *Indonaia caerulea*, *Parreysia* sp. の淡水産貝化石を産出し (GHOSH, 1952), 砂丘基部は明らかに河成堆積物であり、旧河道に堆積した砂層である。この砂層上に風成砂丘砂層が厚く堆積している。河畔砂丘の砂は中央粒径値が2.0~2.4φであり、砂漠砂丘砂が Hissar のもので3.0φと細粒で、砂漠砂丘の砂は容易に識別できる。

一方、石英粒の表面形態分析によれば、磨食粒型(成瀬, 1972)の含有率は河畔砂丘の砂で最高10%であり、風成砂と水成砂の境界付近の特性を持つ砂と言える。わが国の河畔砂丘の場合、鬼怒川の河畔砂丘⁸⁾の磨食粒含有率もほぼ同様な特性を有している。この結果は、一般に河畔砂丘の場合、砂丘自体の規模が大きくなり、しかも磨食粒を形成するような砂の移動も活発でないことを示しているといえよう。

こうした事実から、マルワにおける砂丘の位置は、かつて河道の位置とは大きくは隔つていないと推定でき、砂丘の分布から過去の旧河道を復元したのが Fig. 5 である。

サトレジ河の旧河道は、Rupar を頂点として南西方向に放射状にのびている。等高線も同様に Rupar を頂点にする扇状地状に配列しており、マルワは明らかに台地化する以前は主にサトレジ河により沖積されていた事実を示す。サトレジ河は、マルワを乱流し、次第に北西に流路を変遷させながら、旧河道に大量の砂を残したものとみられる。

一方、クルクシュトラ平野には旧河道は数多く認められるものの、マルワとは対照的に砂丘が発達していない。等高線の配列からは、この平野はヤムナ河の堆積域と推定されるので、砂丘の発達の有無は、サトレジ河とヤムナ河の堆積物の違い、即ち上流域の地質の違いを反映していると考えられる。サトレジ河は、砂礫を主体とした植生の乏しい上部シワリク層地域を約600km 流れるのに対し、ヤムナ河は大部分が上部カンプリアの珪岩、変成岩地域を流れ、シワリク層地域は約150km しか流れない。

Fig. 5 Channel scars of the Sutlej River in the Punjab Malwa. contour in feet

さて、Hissar 北部、ガガル河岸の上部粘土層 (UCL) の絶対年代 (4300 ± 150 y.B.P.) は、Fig. 6 に示すように Kalibangan, Mohenjodaro など古代インダス国家の都市の発生よりも若干古い。恐らく当時は、現在よりも降水量が多く、サトレジ河、ヤムナ河が沖積台地上を乱流し、上部粘土を堆積し、それはまた同時代の溢流灌漑に基礎を置く農業生産を高めたものといえる。即ち、Kalibangan や旧河道に沿う集落の発達、サトレジ河、ヤム河と深い関わりを持っていたことは明らかである。

その後、サトレジ河は次第に北西に、ヤムナ河は南東に河道を移して行き、今日、それぞれインダス、ガンガ両水系にはつきりと分離している。こうした両河川の変遷は、ガガル河付近で最も高く、北西および南東側で低くなる基盤の地形と調和しており、河道変化がこの地域の地盤運動を反映したものとして理解される。

河畔砂丘は、古土壌のなる固定砂丘と、移動中の現成砂丘に分けられる。現成砂丘は、バルハン型⁹⁾が多く、縦列型¹⁰⁾も局地的に見られる。いずれも現在の南西モンスーン卓越風向に調和的である。固定砂丘砂層は、 CaCO_3 の含有率が高く固結しており、砂層最上部に形成された古土壌は赤褐色 5 YR 4/6 を呈し、厚さ 20cm、B 層のみ認められる。この古土壌と下位の固定砂丘砂層を掘込んで埋められた大型家畜の

後の横列砂丘が発達する。

全体的に固定砂丘は周辺部、特に北部に近接するにつれて、規模が小さくなり、分布密度も低くなる。これは砂漠の砂の大部分を、アラビア海岸、カッチ大湿原に供給源を求めた WADIA, D. N. (1961) の見解を大局的には支持し得るものである。固定砂丘分布地域に発達する現成砂丘は、集落の周辺に分布が限られている。それは耕地化による砂の再移動が主な原因であることを示す(口絵1参照)。固定砂丘には縦列型、U字型、セイフ型砂丘が多いのに対し現成砂丘は小規模なバルハン、横列砂丘がほとんどである(PANDY, *et al.*, 1964)。

固定砂丘上にはアカシア、ニーム、ケジュリなどの喬木やマメ科、イネ科、ニシキギ科、タデ科、ハマビシ科など草本類の植生が生育するが、植生の被覆は一般に単体の砂丘表面積の6.1%を占めるにすぎない¹⁵⁾(SHANKARNARAYAN 1965)。固定砂丘が安定しているのは、砂層中の CaCO_3 含有率(0.12~65.28%)が高いからで、これが砂層の固結度を高くしている原因となっている。植生の被覆は固定砂丘の標示物としての役目を果しているにすぎない。その他固定砂丘の下に埋没している化石砂丘がある。化石砂丘は南部の Gujarat 州(ALLCHIN, B. *et al.*, 1971)、Rajasthan 州(VERSTAPPEN, H., 1970)など砂漠縁辺部に広く分布が認められる。

2. タール砂漠北部の砂丘の形成期と古土壤

砂漠北部には固定砂丘の分布が広く、横列型砂丘は長軸 N 30°W、幅300~600m の砂丘が500m~1.7 km の間隔で、縦列型砂丘も長軸方向 N 70°E、比高12m 程度である。Fig. 7 は Hissar 南方12 km の Mangali 村で年降水量425mm の地域である。周辺はガリーの発達した固定砂丘で囲まれ、中央部が小規模な現成砂丘の発達する沖積低地である。砂壤土からなる沖積低地は灌漑水路網が縦横にめぐられ、綿花生産が盛んである(中山, 1975)。

現成砂丘は未固結で、バルハン型が普通で比高1.5~5 m、幅40m 程度のものが多い。その長軸は N48°W と卓越風向に直角である。固定砂丘は比高18m、砂は橙色(7.5 YR 5/6)を呈し、最上部には所によってA層褐色(10 YR 4/4) B層橙色7.5 YR 5/7 の古土壤が形成されているが、多くの場合、欠除している。この古土壤中には焼成レンガ片が入っており、前述のマルワにおける河畔砂丘の固定砂丘上に形成された古土壤と同一時期のものと考えられる。砂層中には古土壤下約1 m に炭酸カルシウムの結核が含まれている。一方、固定砂丘下に埋没する化石砂丘には、最上部に厚さ約1 m の上部が明褐色7.5 YR 5/6 下部が明赤褐色(5 YR 5/6)の古土壤が形成されている。この古土壤中には、多くの炭化物、骨片とともに土器は、レンガ片が含まれているところからみて、一万年よりは古くなく、完新世に形成された土壤と考えられる。

この様にタール砂漠北部の砂丘は2枚の古土壤を鍵層にして、三砂丘砂層に区分される。これらの古土壤の形成期について、上位の古土壤が近代の砂丘地域の開発以前に形成されていたことは明らかになったが、下位の厚い古土壤は絶対年代の資料がない。しかし、この北部において明らかにされた一連の層序関係は Table 2 に示すように他地域の研究結果とほぼ一致している(成瀬, 1974)。1952年の KRISHAN らの砂丘形成期の研究以来、ことに1970年代に行われた諸研究によつてタール砂漠における完新世の気候変化が明らかにされつつあり、それらの研究はいずれもほぼ一致した結果を得ている。それによれば、1万年以前は、化石砂丘が形成されるような乾燥気候であり、その後、9,000~4,000年前には、砂丘上に土壤が形成されるような湿潤な気候に変化したという。SINGH, G. (1974)らによれば、Bikaner 北方約100km の年降水量250mm の地域でさえも、当時は定常流河川と淡水湖が存在し、現在年降水量500mm 付近にみられる植生が分布していたことを報告している。

この後、紀元前1,500年以後急激に塩性植物が多くなり、淡水湖にかわつて塩水湖が出現し、石膏の集積が開始された(SINGH, 1971)。

同様に ALLCHIN ら(1971)は Gujarat 州で化石砂丘中に中石器を、古土壤中に細石器をそれぞれ発

Fig. 7 Geomorphological map of Mangali in Hissar. contour in feet

見し、化石砂丘は12,000年以前の寒冷乾燥期に、古土壌は12,000年から5,000年前頃の間形成されたと報告している。

本調査地域の化石砂丘上の古土壌も層序的な関係から、タール砂漠の各地で報告されている9,000～4,000年前の湿潤期に形成されたと考えられる。この時期には、現在年降水量500mm以下の地域は砂丘上の灌木を焼払い播種する原始的耕種農業が営まれていた(SINGH, 1971)。青銅器時代の人々は、当時疎林をなしていた開発の容易な年降水量500mm以下の地域を中心に活動した。紀元前3,000～2,000年にかけて発達したインダス文明は、この地域の豊かな農業生産を背景に栄えた。しかし紀元前1,500年頃から再び化石砂丘上に巨大な砂丘が形成され始め、文化の中心は次第に東部に移り、リグヴェーダ時代(紀元前1,200～800年)になると東部パンジャブが中心的位置を占めるようになった。さらに紀元前800年頃、鉄の移入をまつて、当時疎林をなしていたガンガ中流域の開発が進み、タール砂漠は完全に荒廃してしまつたと考えられる。

化石砂丘上の巨大な砂丘は、その後固定化されるに至り、古土壌の形成が行われた。近代の開発は、再

Table 2 Chronology of dune formation in the Thar Desert.

Age	stratigraphic units	SINGH, G. <i>et al.</i> (1972)	ALLCHIN, B. <i>et al.</i> (1971)	VERSTAP- PEN, H. Th. (1970)	ROY, B. B. <i>et al.</i> (1970)	KRISHAN, K. U. (1952)	NARUSE, T. (1976)	
-0 (yrs)		Rajasthan	Gujarat	Rajasthan	Rajasthan	Rajasthan	Haryana	Punjab
-	Sub Atlantic	silt (brackish water lake) gypsum	active dunes 1)	active barchan		sand dunes	active dunes	flood plain
-			sand dunes covered with vegetation	fixed parabolic and longi- tudinal dunes			paleosol	paleosol < deposit
-	Sub Boreal						fixed dunes	
-								paleosol
-5,000	Atlantic	laminate clay (fresh water lake)	deep soil on the dune surface with microliths	climatic optimum dissection of sand shields	dissection and stabi- lization of dunes	the Indus Culture	paleosol	UCL (4,300±150 y.B.P.)
-								UFS
-	Boreal							
-10,000	Pre Boreal	aeolian sands			?		fossil dunes	
-	Young Dryas			huge sand shields				
-	Alleröd				fresh dunes			Middle alluvium
-	Older Dryas		fossil dunes with mesoliths					
-	Bölling							
⋈ -50,000					old system dunes (50,000 y.B.P.) fossil dunes			

1) area with less than 250mm annual rainfall

び固定砂丘上に現成砂丘の形成を促している。

V. ま と め

インド・パンジャブ平原及びタール砂漠北部の地形および地形発達には以下のようにまとめられる。

1) インド・パンジャブ平原の地形は開析山麓平野・沖積台地・沖積低地からなる。沖積台地は上部粘土層に含まれる貝化石の絶対年代が4,300±150 y.B.P. であり、炭酸カルシウム集積層もないことから、完新世に台地化したものである。台地化は、少なくとも4,000年前以後の出来事と考えられる。

2) 沖積層は上部、中部、下部と区分される。一方沖積層の堆積速度は0.25~0.33mm/年でこの堆積速度からインド・パンジャブ平原の沖積層の区分を行った結果、上部沖積層は完新世、中部沖積層は上部更新紀、下部は中部更新紀に対比を試みた。

3) パンジャブマルワの沖積層の変形から、北西—南東方向に軸をもつ波長40kmの新期の褶曲構造の存在が推定され、水系の異常、塩性土の分布などもこれを裏付ける。沖積層の下部ほどその変形量が大いことから、この運動が更新世中期以後もひきつづいて行われていることを示している。

4) パンジャブマルワとクルクシュトラ平野の等高線の配置から、クルクシュトラ平野はヤムナ河によつて沖積されたものであり、パンジャブマルワに分布する無数の河畔砂丘はサトレジ河の旧河道を示していることがわかった。ガガル河下流延長上に残る長大な旧河道は、サトレジ、ヤムナ両河のいずれかの旧河道であつたと考えられる。この旧河道の河岸に立地した Kalibangan はじめ多くのインダス文明期の集落はその後の河道変化によつて放棄された。サトレジ・ヤムナ両河川の河道変化はクルクシュトラ・マルワ両平野を最も高くするような地盤運動の反映と考えられる。

5) タール砂漠北部の砂丘は2枚の古土壌によつて、現成砂丘、固定砂丘、化石砂丘に区分される。化石砂丘は一万年以前のもの、化石砂丘上に形成された古土壌は9,000~4,000年前の湿潤期に、固定砂丘の形成は4,000年以後の乾燥期に形成された。固定砂丘上古土壌は、パンジャブ平原の河畔砂丘上の古土壌に対比され、少なくとも19世紀にはじまるパンジャブ開発まで固定化されていた。近代の開発は現成砂丘の形成を促した。

謝 辞

この報告は、広島大学藤原健蔵教授と共に現地調査を行い、筆者の責任においてまとめたものである。

この研究にあたって、広島大学石田 寛教授、吉田栄夫・藤原健蔵両教授はじめ調査隊の方々に厚くお礼申し上げます。

また現地調査中お世話になった北西インド各大学、研究機関の方々をはじめ民間の方々、具化石を鑑定していただいた広島大学理学部稲葉明彦教授にお礼申し上げます。

注および引用文献

- 1) マルワ *malwa* とは台地の意味。パンジャブマルワを以下マルワと略称する。
- 2) 厚い沖積層（更新世中期以後に堆積した陸成堆積物でシワリク層上にのる）からなる台地。
- 3) 炭酸カルシウム集積層のうち厚いものはカンカール (*kankar*) と呼ばれている。
- 4) 上に厚く固定砂丘砂層が堆積している。
- 5) 紀元前1,200~800年頃。
- 6) その証拠として Kalibangan の上部沖積層が、現在のヤムナ河の堆積物と特性が同一なることをあげている。
- 7) 河畔砂丘は、旧河道に沿って発達している場合が多い。
- 8) 鬼怒川の砂丘砂は 試料数3、貞方 昇氏の採取による。砂丘の比高 7m、中央粒径値 1.6~1.95φ。
- 9) 走向 N45°W、比高 2m、幅30×長40m 程度。
- 10) 走向 N70°E、比高 3m、幅40×長120m 程度。
- 11) この露頭では、古土壌の上にさらに厚さ 3m の現成砂丘砂層が堆積している。
- 12) 現成砂丘は今日、未耕地である。近接した耕地に対する飛砂の害が恐れられている。
- 13) ヒマラヤ山麓（堆積物の供給源）とパンジャブ平原（最終堆積地）の間に次の様な図式が考えられる。①最終氷期、ヒマラヤ山麓堆積、パンジャブ平原開析、②完新世湿潤期、ヒマラヤ山麓開析、パンジャブ平原堆積、河川の流量大、③完新世乾燥期、パンジャブ平原開析、河川流量少。
- 14) 実際には、U字型砂丘の合成であり、それが横列をなしている。横列砂丘が後の風蝕により、U字型砂丘に変形したのかは判然としない。
- 15) 現成砂丘の植生被覆率は2.84%、CaCO₃ 含有率0.01~18%である。

- ALLCHIN, B. & GOUDIE, A. (1971) : Dunes, aridity and early man in Gujarat, Western India, *Man*, Vol. 6, pp. 248-265.
- DALES, G. F. (1973) : Archaeological and radiocarbon chronologies for protohistoric South Asia, *South Asian Archaeology*, pp. 157-169.
- 藤原健蔵 (1975) : インド・パンジャープ地方における水問題の新展開, 『インド・パンジャープの動態地誌的研究』 pp. 220-250.
- GHOSE, A. (1952) : The Rajputana desert its archaeological aspect, *Bull. National institute of Sciences of India*, No. 1, pp. 37-42.
- GREENMAN, D. W., SWARZENSKI, W. T. and BENNETT, G. D. (1967) : Groundwater hydrology of the Punjab, West Pakistan, with emphasis on problems caused by canal irrigation, *Geol. Survey Water-supply Paper*, 1608-H, 66, pp.
- HAYASHI, M. (1975) : The geomorphology of the Himalayan foot-hills and glacial landforms of the Lesser Himalaya, *地理科学*, No. 22, pp. 25-42.
- HIGGINS, G. M., AHMAD, M. and BRINKMAN, R. (1973) : The Thal interfluvium, Pakistan geomorphology and depositional history, *Geologie en Mijnbouw*, Vol. 52, pp. 147-155.
- HIGGIN, G. M., ROM, B. and BRINKMAN, R. (1973) : The sand of Thal : wind regimes and sand ridge formations, *Zeit. für Geomorph.*, Vol. 18, pp. 272-290.
- 小西正捷 (1971) : 東部パンジャープにおける後期ハラッパー文化, 物質文化, Vol. 17, pp. 41-51.
- KRISHNAMURTHY, K. U. (1952) : The creep of the desert, *Bull. National institute of Sciences of India*, No. 1, pp. 131-136.
- MUKERJI, A. B. (1963) : Alluvial morphology of the upper Ganga-Yamuna doab, *The Deccan Geographer*, Vol. 2, No. 1, pp. 1-36.
- MUKERJI, A. B. (1964) : Alluvial morphology of the upper Ganga-Yamuna doab, *The Deccan Geographer*, Vol. 2, No. 2, pp. 100-126.
- NAKATA, T. (1972) : Geomorphic history and crustal movements the foot-hills of the Himalayas, *The Science Reports of the Tohoku Univ.*, Vol. 22, 177 pp.
- NAKATA, T. (1975) : On Quaternary tectonics around the Himalayas, *The Science Reports of the Tohoku Univ.*, Vol. 25, pp. 111-118.
- 中山修一 (1975) : インド北西部, ガッガルバーナ村とマンガリ村における農村工業の構造と展開, 『インドパンジャープの動態地誌的研究』, pp. 106-141.
- 成瀬敏郎 (1972) : 砂粒型からみた風成砂の特性, *地理評*, No. 45, pp. 829-837.
- 成瀬敏郎 (1974) : インド・タール砂漠砂丘研究の系譜とその問題点, 広島大学文学部紀要, No. 33, pp. 152-171.
- 応地利明 (1974) : インド・パンジャープ平原における農村の展開と「緑の革命」, *史林*, No. 57, pp. 25-78.
- PANDY, S., SINGH, S. and GHOSH, B. (1964) : Orientation, distribution and Origin of sand dunes in the Central Luni basin, *Proc. Sym. problems of Indian Arid Zone, Jodhpur*, 1964, pp. 84-91.
- PITHAWALLA, M. B. (1952) : The great Indian desert, a geographical study, *Bull. National Institute of Sciences of India*, No. 1, pp. 137-151.
- RAIKES, R. (1968) : Kalibangan : Death from Natural Causes, *Antiquity*, XLII, pp. 286-291.
- ROONWAL, G. S. (1968) : The wandering rivers of the Punjab, India, *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecology*, Vol. 4, pp. 155-159.
- ROY, B. C. (1963) : *Tectonic map of India*, Geol. Surv. India.
- SEHGAL, J. and STOOPS, G. (1972) : Pedogenic calcite accumulation in arid and semi-arid regions of the Indo-Gangetic alluvial plain of erstwhile punjab (India), *Geoderma*, Vol. 8, pp. 59-72.
- SHANKARNARAYAN, K. A., CHERIAN, A. and GAW, Y. D. (1965) : Ecology of dune vegetation at Osian (Rajasthan), *The Jour. Indian Botan. Society*, Vol. XLIV, pp. 37-50.
- SINGH, G. (1971) : The Indus valley culture, *Archaeology & Physical Anthropology in Oceania*, Vol. 6, pp. 177-189.
- SINGH, G., JOSHI, R. D. CHOPRA, S. K. and SINGH, A. B. (1974) : Late Quaternary history

- of vegetation and climate of the Rajasthan desert, India, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Vol. 267, pp. 467-501.
- SINHA, K. R. and BOSE, R. N. (1963) : Refraction seismic investigations to locate the supposed sub-alluvial Delhi-Shahpur ridge, *Proc. Symp. on Geophys. Exploration, C.S.I.R., India*, pp. 190-196.
- STEIN, A. (1942) : A survey of the ancient sites along the "lost" Sarasvati, *Geogr. Jour.* Vol. 99, pp. 173-182.
- VERSTAPPEN, H. Th. (1970) : Aeolian geomorphology of the Thar desert and palaeoclimates, *Zeits. für Geomorph. Supplement Band*, 99, pp. 104-120.
- WADIA, D. N. (1961) : *Geology of India*, London, 460 pp.
- 山下 昇 (1963) : ヒマラヤの生いたち, 『世界の変動帯』, pp. 216-225.

(1976年6月25日受理)