

### 43. 黄土高原 (4)

#### (5) 黄土高原の侵食<sup>脚注)</sup>

##### a) 黄土高原と華北平原

黄土高原と華北平原は先史時代から有史時代を通して、“侵食-堆積”という地質プロセス上、一連の関係にあり続けてきたと言える(図24)。この関係は流域の各所に建設された

大小数々の水庫ができるまでは、直接的だったので扇頂部の氾濫堆積物を黄土高原の侵食量に置き換えることは可能であった。黄河氾濫という出来事は古文書にも克明に記録されてきたので、上述の前提のもとに黄土高原の侵食量を秦漢時代まで遡って推定した例もある(図25)。

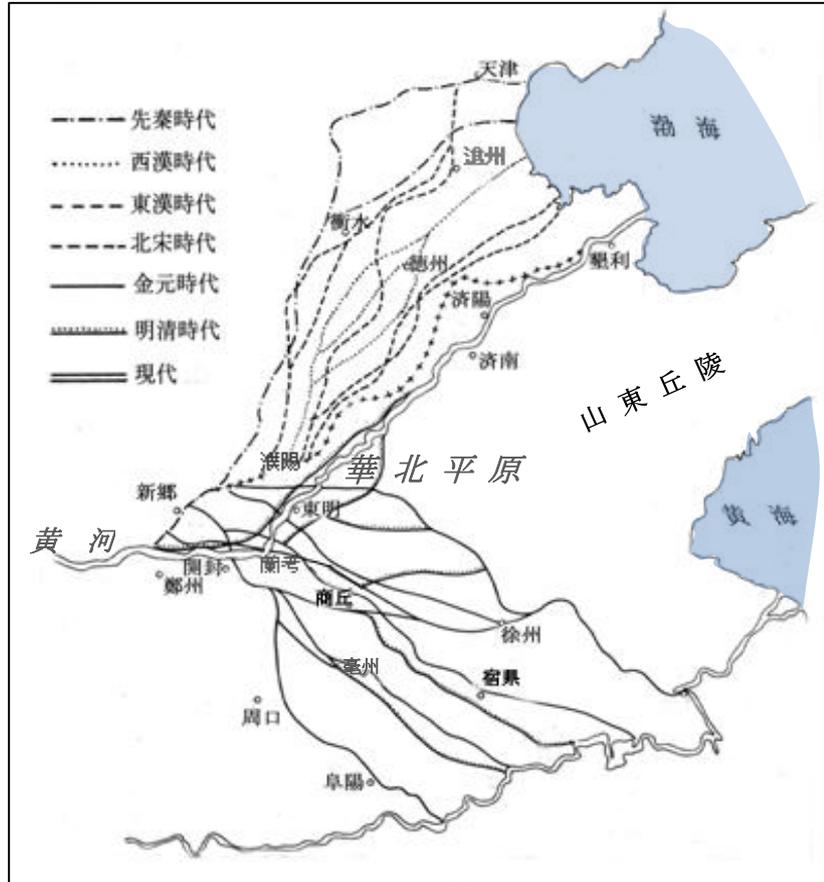


図24 歴史時代黄河下流河道変遷図 (出典：叶青超編(1992)、黄河流域環境演変与水沙運行規律研究、山東科学技術出版社)

ところで河南省鄭州市にある「黄河博物館」には写真30のようなパネルや、写真31

| 河患日深 | 年代   | 秦汉          | 明清                        | 民国                       |
|------|------|-------------|---------------------------|--------------------------|
|      | 决溢次数 | 450年<br>15次 | 1368—1911<br>543年<br>936次 | 1912—1949<br>37年<br>108次 |
|      | 平均时间 | 26年         | 9个月                       | 4个月                      |

写真30 歴史時代の黄河氾濫記録 (黄河博物館)

この図で「河患日深」とは“黄河氾濫の時系列状況”のことである。  
発生頻度は年代とともに高くなっていることが注目される。

の時代が特定された洪水堆積物そのものも展示しており、また現地には写真32のような漢代の堤防遺跡も遺されている。なお黄河の築堤は、

脚注：黄土高原における侵食には水力、重力、風力、凍結・融解、動物などの自然営力によるもの他、人為営力によるものがあるが、ここでは主として水力によるものに焦点をあてた。

戦国時代には既に行われていたといわれている。



写真の氾濫堆積物の時代は漢代、場所は河南省洛陽市孟津県で、最近完成した小浪底水庫付近。ここは黄河が華北平原に流れ出す地点にあたる。

写真 31 歴史時代の黄河氾濫堆積物（黄河博物館）

図 25 はこのような歴史資料などを踏まえて復元された完新世中期以降の侵食量の推移である。これによると黄土高原の年平均侵食量は完新世中期(6,000~3,000年前)において 9.75 億トン、また B.C.1,020 年 ~ B.C.1,194 年において 11.6 億トンと算出され、その殆どは自然侵食量である。しかしそれ以降は人間活動の増大とともに加速的に増加する傾向が示されている。

話は変わるが華北平原の黄土を主体とした氾濫堆積物は写真 33 のような肥沃な耕土をつくり、また煉瓦の材料や粒径が小さくかつ均質なところでは陶器材としても昔から利用されてきた。現在でもそれは変わらない。平原の各所には写真 34 のような黄土の採掘現場がみられ、その深さは 5m、場所によっては 10m に達することがある。

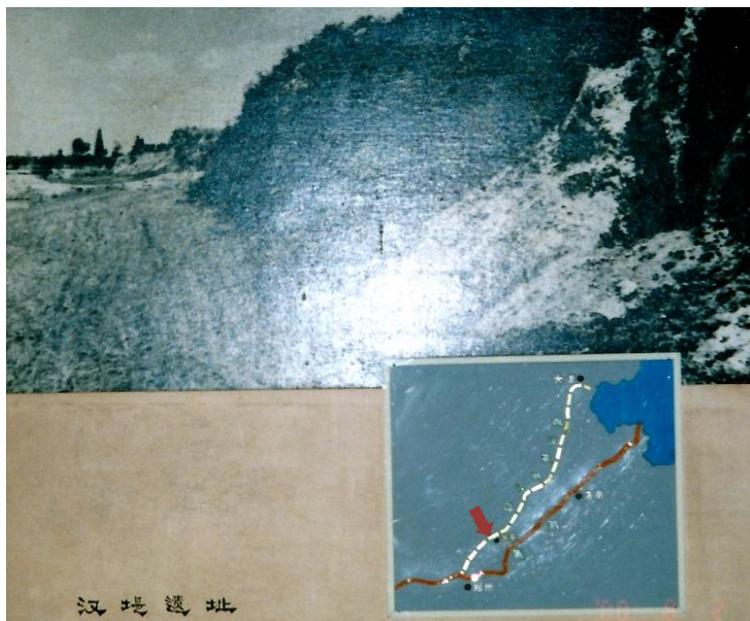
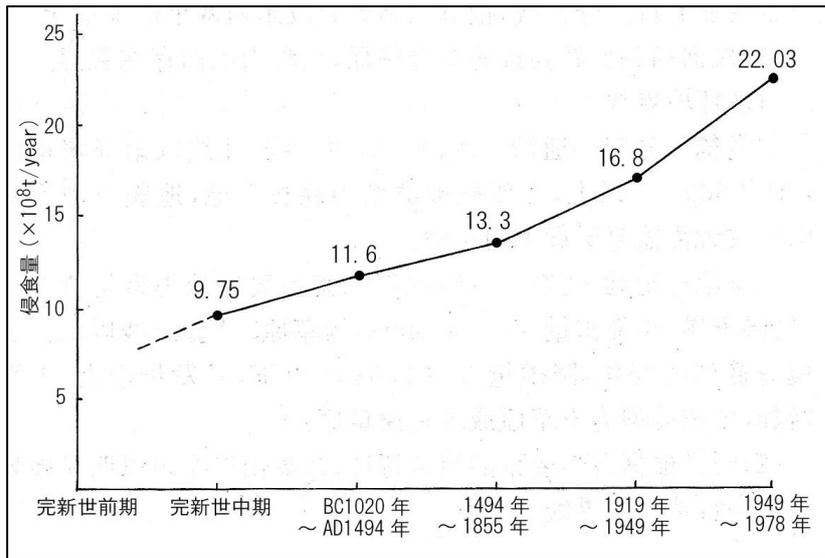


写真 32 漢代の堤防遺跡と堆積物（黄河博物館）

(パネルには「漢堤遺跡」とある。写真の白破線が漢代の黄河)



春秋戦国時代までは黄河中流地帯の農業は涇河、渭河及びその下流地帯に留まっており、黄土高原の侵食は自然作用によるものが主であったが、秦漢時代になって大規模な移民が行われるようになり、自然環境が大きく変わった。西漢以降、農業活動が盛んになるにしたがって黄土の流亡は著しくなり、史書は、“華北平原の黄河決壊が甚大となり、暴河の状態となった”と記している。(叶 青超、前出)

図 25 完新世中期以降の侵食量推移

(出典：孟 慶枚編(1996)黄土高原水土保持、黄河水利出版社)



写真 33 旧黄河跡に展開する肥沃な農地  
(手前と遙か前方に堤防が見える)

b) 侵食類型

このシリーズの(2)において黄土高原の地貌は塬(yuán)、梁(liáng)、峁(mǎo)、溝(gōu)の4種の基本的な地形類型に分けて捉えることができると述べたが、侵食類型はこれとの関係が深い。最近完成した小浪底

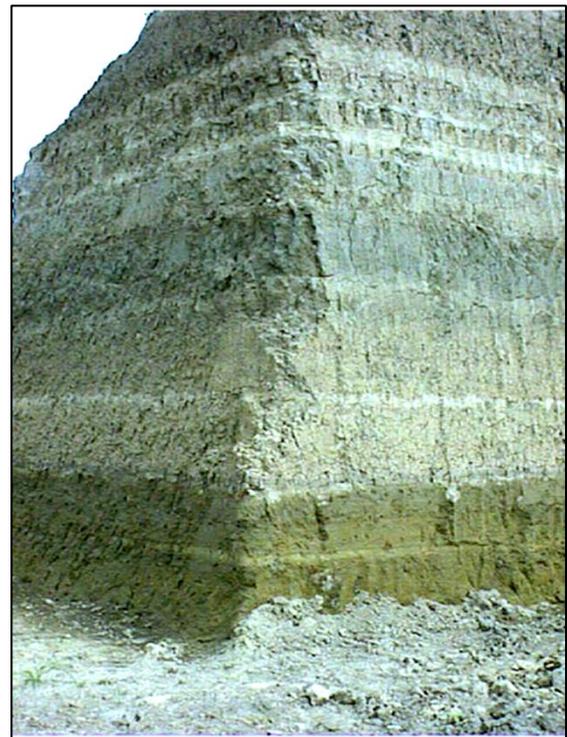


写真 34 黄土堆積物の採掘(華北平原)  
(深さは7~10m)

水庫にある見学用資料館に展示してあった黄土高原の地形模型(写真 35)とともに図 26 の黄土高原侵食類型を見ていただきたい。この図で溝壑区とは“丘陵地帯の谷間”といった意味で、黄土高原の中でもっとも広い面積を占め、図 27 の黄土高原侵食状況にあるよ

うに、1 km<sup>2</sup> 当たり年間 1~2 万トン、地区によってはそれ以上という激しい侵食量を示す。写真 35 で溝壑区としてある地域は斜面を階段状に削って造成された農耕地が目立ち、その土地を深い谷が刻んでいて地形変化の激しいところとなっている。水土保持対策のもっとも重要な地区である（写真 36）。



写真 35 黄土高原の土地利用に係わる地形模型（小浪底水庫資料館，筆者加筆）

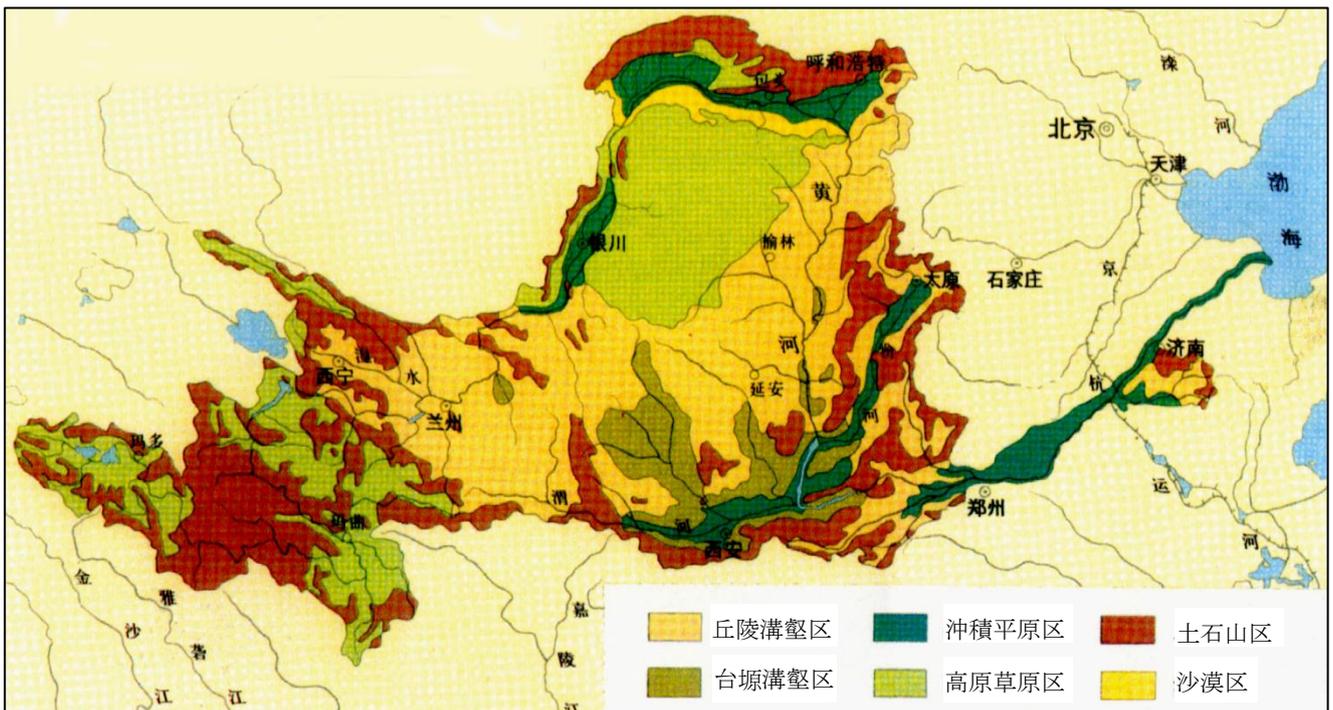


図 26 黄土高原侵食類型

(出典：中国国家自然地図集(1999)，中国地図出版社)

図 27 には年間降水量を重ねて示してある。ここで、図 26 で丘陵溝壑区とされている

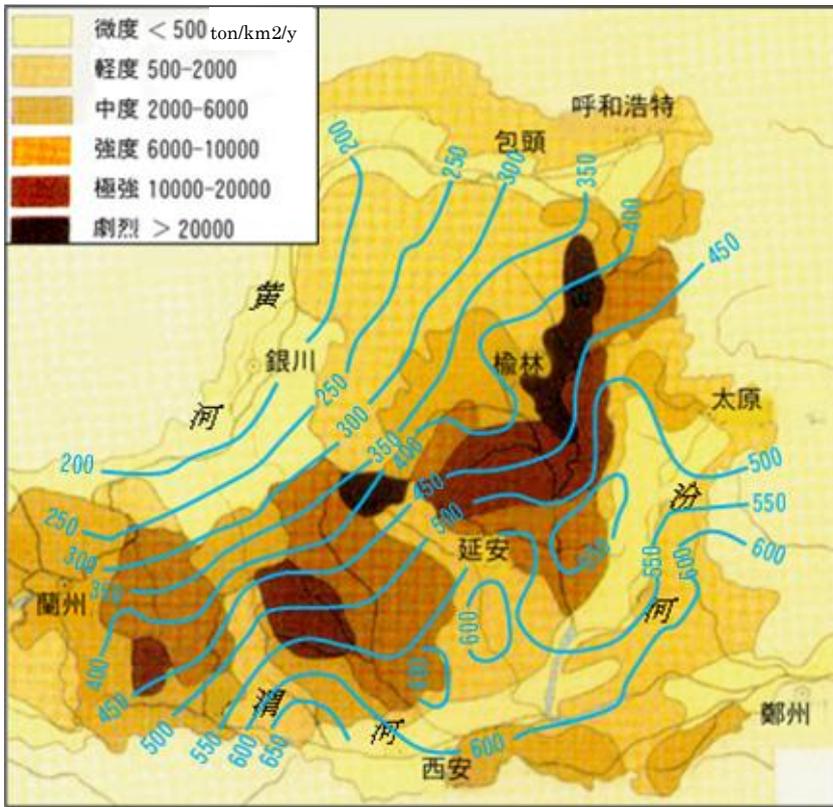


図 27 黄土高原浸食状況

(出典：中国国家自然地図集(1999)，中国地図出版社、筆者加筆)

る地域は台塬溝壑区とともにその地形条件に降水分布が重なり、さらに森林伐採と稜線部までくまなく進んだ農地化（写真 39）が黄土の流亡に拍車を掛けてきたことが示されている。

土壤侵食が最も著しい丘陵溝壑区は黄土高原の南、渭河に至り、また北は長城、西は青海省の日月山一帯、東は呂梁山にまで広がっている。これらの地域の谷密度は  $1.8 \sim 7 \text{ km/km}^2$  で谷は起伏の激しい丘陵を削って縦横に

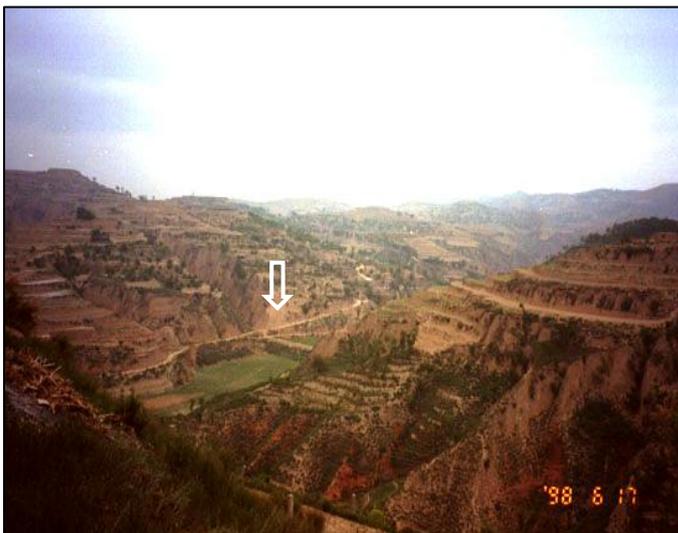


写真 36 丘陵溝壑区の階段耕作地（晋西黄土高原）

走り、水力侵食や重力侵食が最も強烈に及んでいる。台塬溝壑区の主要分布地区は甘肅省東部の董志塬、陝西省中部の洛川塬、山西省の汾河下流の南岸である。

谷間（溝）中に砂防堰堤が見える（矢印）。高さは 30m 程度あり、上流から流れてきた黄土が堆積している。これは一種の人工帯水層の役割も兼ねていて、地下水の揚水機場が設置されているところもある（写真 37）。



写真 37 砂防堰堤上流部の揚水機場

塬面は平坦であるが、縁辺部は谷壁の比高が高く、傾斜は急で侵食が激しい。その営力も水と重力である。なお台塬溝壑区の谷密度は  $1.3\sim 2.7\text{km}/\text{km}^2$  である。

土石山区のおもな分布は晋西黄土高原の東に位置する呂梁山と太行山、また黄土高原の西を限る六盤山にあり、基盤が露出して表土層は薄く、侵食は軽微である。森林の覆蓋が目立つ。

c) 潜蝕（地下侵食）

さて黄土高原の元来の地貌は、黄土層の“堆積－侵食”という地質事象を濃厚に反映しており、歴史時代に入ってからの人為による地形改変が行われるまでは、水力、風力、重力、凍結・融解の諸種の自然営力の跡が地形によく遺されていた。原形に近いと思われる写真 38 の例からその様子がよみとれる。しかし近年になると写真 39 にみるように丘陵溝壑区での著しい農地化が進み、その影響が特に沟（溝）谷における侵食・崩落というかたちで具現している。以下このことに関して図 28 脚注 によって考察する。



写真 38 典型的な本来の黄土<sup>りょうごう</sup>塬<sup>りょうごう</sup>崩<sup>りょうごう</sup>地形（延安上空）  
〔稜線部はほぼ原形を遺している。向かって左側が南。稜線を境に〕  
植生や侵食状況に顕著な違いが見られる。



写真 39 極度に開発された丘陵溝壑区の農地（晋西黄土高原）  
（黄土塬<sup>りょうごう</sup>を削って造成された畑地の崩落が続き、谷頭侵食が進行している様子が指摘できる）

基本的に黄土層はおもに風成層から成るという性質上、それ以前の地形の起伏に支配されて堆積していることが多い。つまり各時期の黄土層頂面の古地形は図のように位置的に重なることが多いということである。もう一つの特徴は、黄土高原の多くは“千沟万壑”の喩のように谷密度が3~5 km/km<sup>2</sup>、最大10 km/km<sup>2</sup>というように中国の他の山地・丘陵に比べて最大5倍に達するということである。

このような特徴に支配され、また逆にこれに影響を与える現象として、黄土層中の地中水の存在（動態）は重要である、と筆者は考えている。これまでも触れてきた、黄土層に特有の縦方向に発達した節理、裂隙と、それに支配された鉛直方向の浸透、そしてこれに起因する『大管隙<sup>脚注1)</sup>の成長→竪穴状陥没→数珠状連結→洞孔拡大→沟（溝）の拡張』といった一連の過程がそれである。これらの過程の後半はおもに図28のⅡaからⅡcの間で生起し、黄土流亡のおもな発生部位となる。なおこのような一連の地下侵食過程に関しては以前もこのコーナーで取り上げているので、それを参考にしたい。

筆者が訪問した山西省水土保持科学研究所の試験流域（図29）では、このことに関する課題に熱心に取り組んでいた。その一部を紹介しておく。

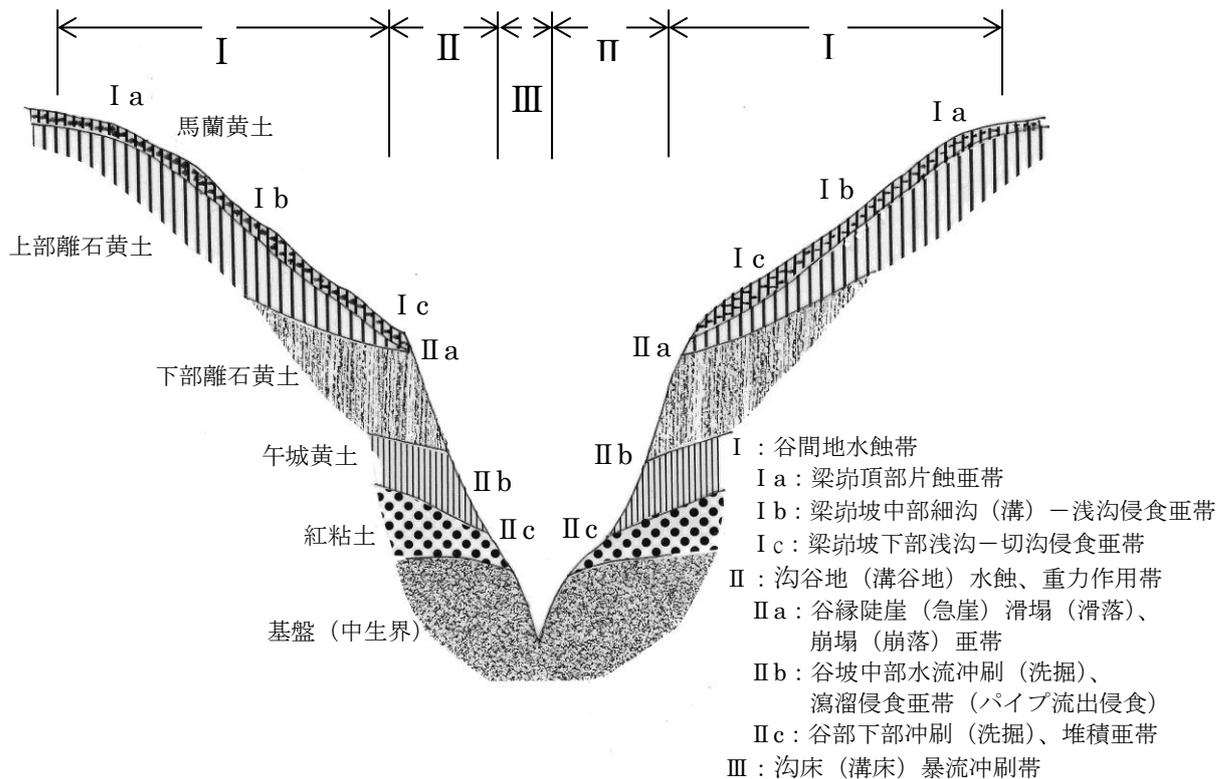


図28 黄土地帯の谷部における侵食作用の垂直分帯の模式図<sup>脚注2)</sup>

（用語は原典に依ったが括弧内にこれに相当する日本語を添えた）

脚注1 : Macro pore あるいは Preferred pass way に相当する。

脚注2 : この図は中国版「百度百科」から引用したものであるが、原図の主旨を大きく変えない範囲内で若干手を加えてある。

地下侵食（潜蝕<sup>脚注</sup>）に関する研究は図 29 の山西省の中部、呂梁山地西麓の離石にある「王家沟」という名の沟谷の一支流、図 30 の「羊道沟」で行われた。

この羊道沟を中心とした地形の特徴は図 30 にあるとおり、黄土高原の塬峁の特徴がよく示されている。丸みを帯びたなだらかな塬（稜線）、あるいは峁（山阜）と、それを刻むV字谷、あるいは山巒との顕著な対応がそれで、後者は図 28 のⅡa～Ⅱc以下の斜面に対応する。ここでは図 31 にあるように陥穴群が調べられ、それらを数珠状に横に繋げる穿洞（天然の通洞）も追跡された。

これらによって地下侵食が増進し、やがて陥没してガリをつくり、急崖を成長させる。地形図と写真 40 からこの過程を明瞭に読み取ることができる。

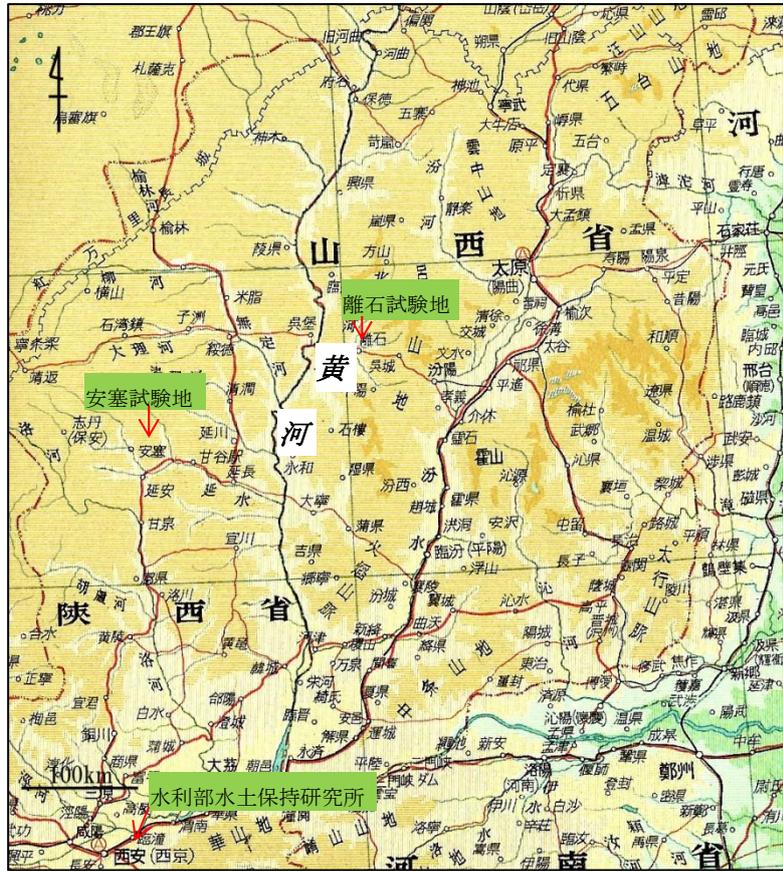


図 29 筆者が訪問した黄土高原の試験地と研究所

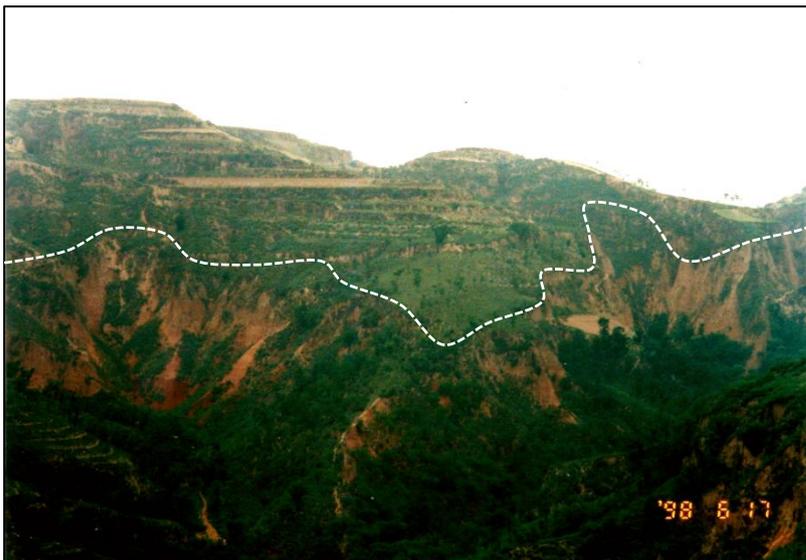


写真 40 塬峁地と沟谷地の顕著な地形的対応

(破線は図 28 のⅠとⅡの境界に当たる)

塬峁地から浸透した降水が黄土層の鉛直方向に発達する裂隙を降下浸透する過程で潜蝕を進め、陥穴、穿洞を生じて遂には崩壊にいたる。なお黄土層は石灰分を多く含んでおり、溶蝕もこれに加わっていると考えられる。

崩土は大降雨時に土石流のもととなり、沟谷の底を掘り下げる。

脚注：中国ではこの用語が使われている。

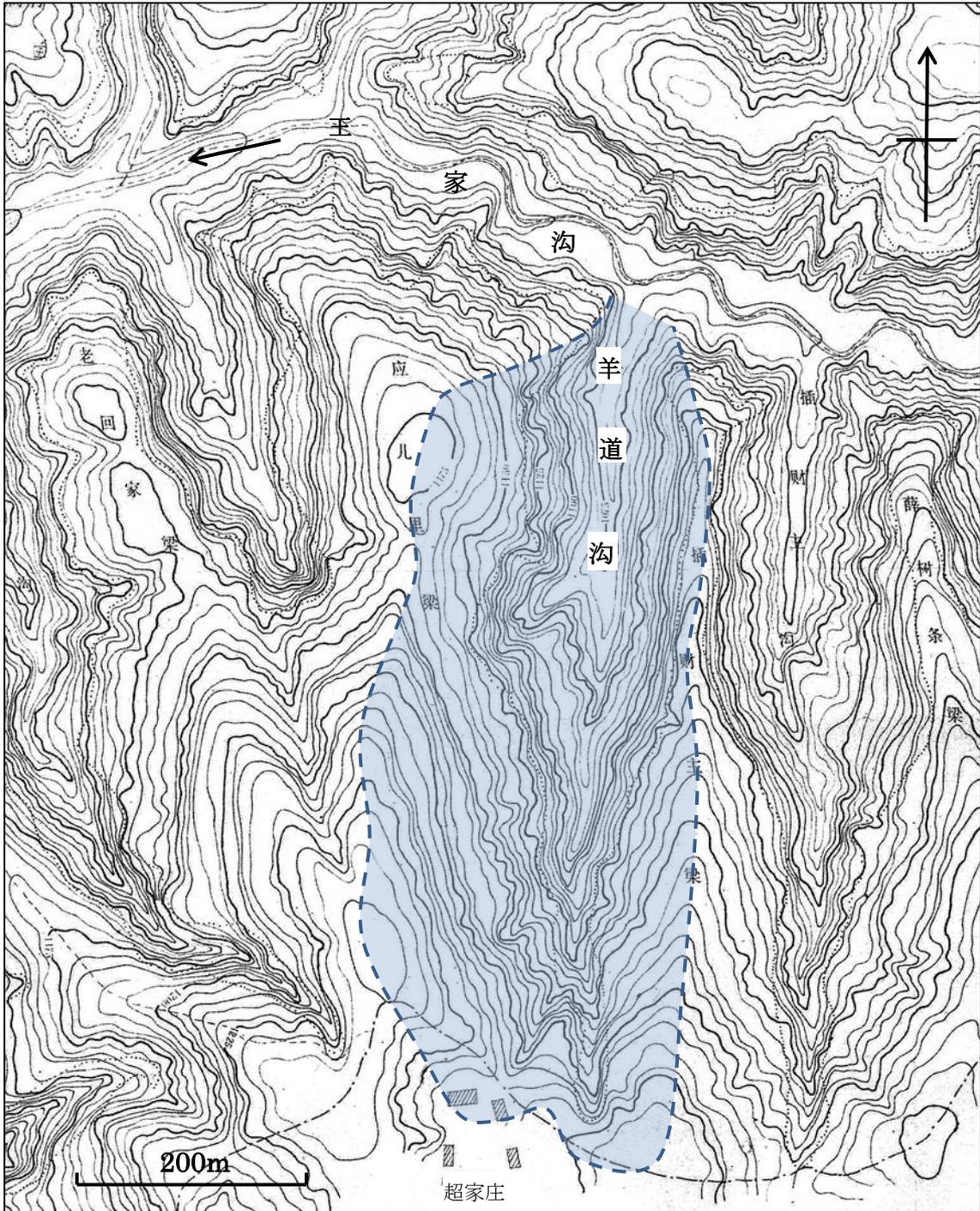
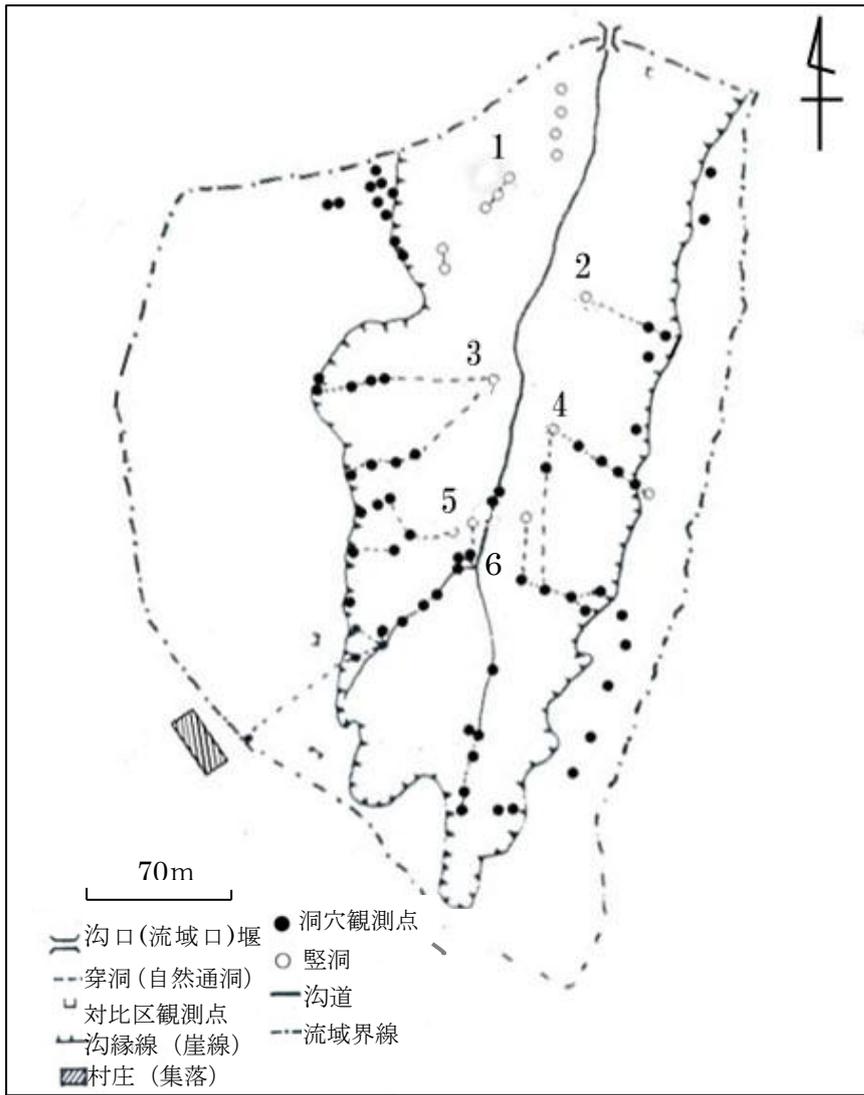


図 30 山西省水土保持科学研究所の試験流域（王家溝）の地形図  
(原図(1/5,000)は研究所の提供による。着色部は図 31 の小流域に対応)

写真 41 は 2013 年撮影の画像で、筆者が訪ねた時から 15 年後にあたる。図 30 の地形はさらに以前のもになる。この図と写真 41 を対比して、この間に人工改変地を除いて本来の地形に明瞭に現れた変化をみると写真 41 に赤丸で示した地区がこれに当たり、谷の伸長は 10m 以上に及んでいることが読み取れる。



洞穴水と非洞穴水の関係について、興味ある結果が報告されているので、以下にそのいくつかを引用しておく(図32, 33)。

この流域内には77か所に垂直洞穴があり、水平穿洞の総延長は少なくとも500m以上に達している。区域内には7つの洞穴系統の出口があり、内6か所に堰が設けられ、流量と排砂量が観測された。なお地表流についても同じ項目についての観測が行われた。

図31 試験区域内各観測点位置図

〔出典：朱 同新他(1992)：羊道沟流域洞穴産流産沙規律研究、晋西黄土高原  
 〔土壤浸食管理与地理信息系统应用研究、科学出版社〕〕

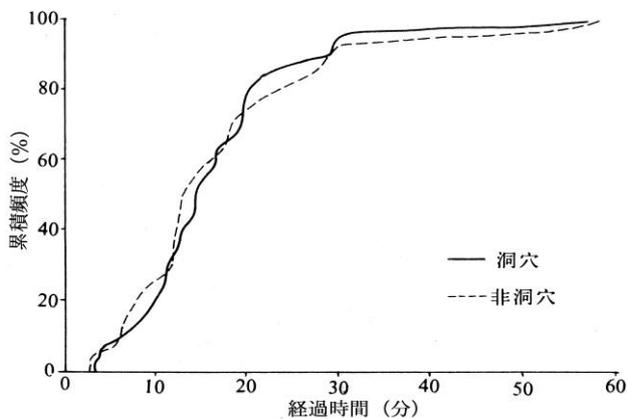


図32 洞穴、非洞穴区流出開始時間  
 累積頻度曲線 (出典：図31に同じ)

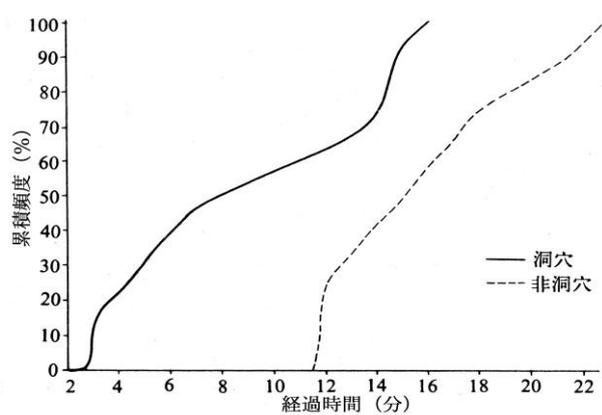


図33 洞穴、非洞穴区ピーク流量到達  
 時間頻度曲線 (出典：図31に同じ)

図 32 は流域内 6 か所の洞穴系についての計 48 例の観測記録から得たものであるが、注目される点は、洞穴、非洞穴区ともに時間的な開きが見られないことと、降雨後、流出が開始される時間が著しく短いことである。また流出開始は殆どの例（95%）が 30 分以内に集中している。図 33 についてみると、流出量が最大値（ピーク流量）に達した時間は洞穴、非洞穴区で異なっていて前者の方が常に早く、また継続降雨があつてその強度が大きい場合には両者の開きはさらに顕著になる。これらの現象には降雨前の地山黄土層や、洞穴内の崩土の土湿状態が関与しているとしている。



写真 41 顕著な谷の伸長（2013 年撮影の画像）

d) 降雨侵食力

黄土高原には時として途轍もない量の降雨がもたらされることは、このシリーズの(2)で紹介したとおりである。その他の降雨についても、幾つか加えて紹介しておこ脚注)。1977年7月5日に陝西省安塞で、360分雨量で270mm、1988年7月23日に甘肅省西峰で、180分雨量で248mm、1981年6月20日に陝西省渭南で、120分で120mm、1970年8月27日に陝西省榆林で、5分間で25.6mmといった記録をはじめ、多数の豪雨記録があり、“途轍もない量”の降雨は決して珍しいものではないことが分かる。

降雨状態についても、黄土高原では一般に空間的不均一性が著しいといった特徴もある。これは年降雨についても単一の降雨についても言え、特に中北部丘陵の沟壑地にみられる特徴である。このような特徴は“産流・産沙”の空間分布に大きな影響を及ぼし、その把握や予測を難しくしていることから、大きな研究課題とされ、定式化のための小流域を対象とした研究も多くなされ、その定量化が目されている。

どのような土地状態で、どのような降雨があった場合、どれだけの流亡土砂が発生するかを予測し、評価することは水土保持対策上、重要な課題であり、“降雨侵食力”の評価がその中心となる。ここで降雨侵食力とは、降雨時において土壌侵食を生じさせる潜在能力のことで、“降雨侵食力因子 (erosivity factor of rainfall)”と呼ばれ、基本的には、

$$R = \Sigma E \cdot I_n$$

で表される。ここで  $E$  は一次降雨の総運動エネルギー、 $I_n$  は一次降雨過程中の連続  $n$  時間の最大降雨強度である。図34にその  $R$  値の正偏差値の分布を示す。

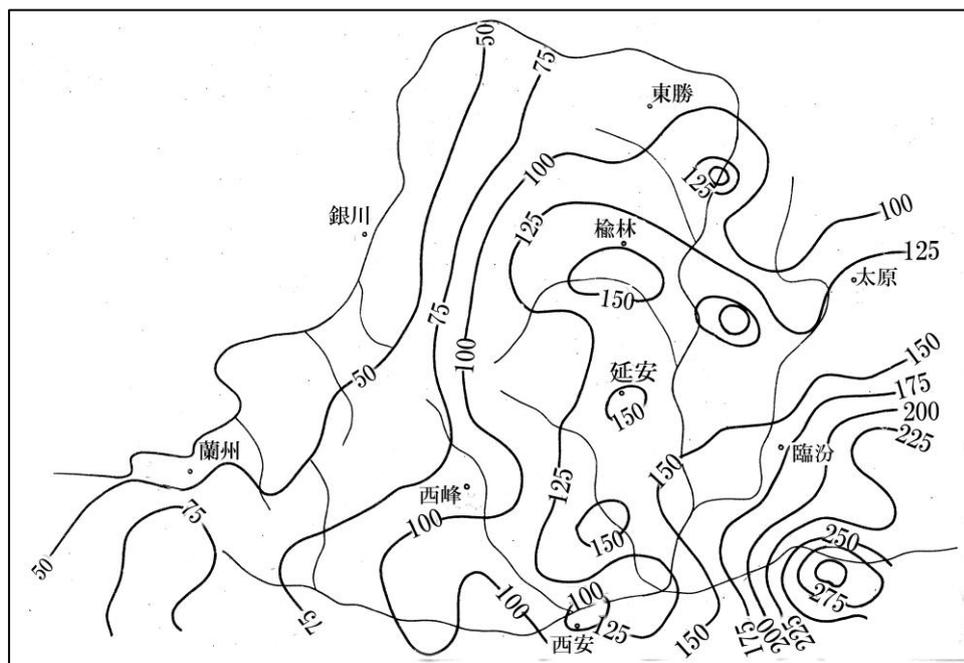


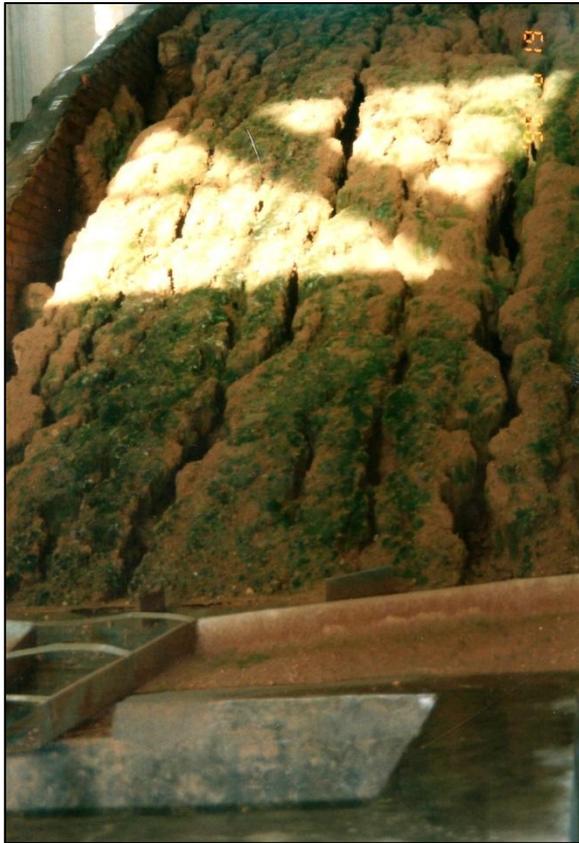
図34 黄土高原年降雨侵食力等値線

(出典：王 万忠他(1996)：黄土高原降雨侵蝕産沙与黄河輸沙、科学出版社)

この図に示された特徴を整理すると、以下のようになる。

- ① 黄土高原における年降雨量の分布の大勢は明らかに東南－西北方向を示し、なおかつ中部地域では南北の方向性も認められる。
- ② また局地的暴雨発生頻度や強度は図の閉曲線部と一致する傾向が認められる。その代表的な地域は、東南部の晋東－豫東地域、中央部の榆林－黄河東側の臨県地域、延安－吉県地域などである。
- ③ 降雨侵食力の大きい地域は降雨強度の高い地域、またその発生頻度の高いところと一致するところが多い。従ってこの因子は土壤侵食降雨の評価の指標としての意義が大きいといえる。

言うまでもなく、上記は土壤侵食のポテンシャルともいうべきもので、実際には侵食を齎すまでの臨界降雨というものがあり、これ以下では地表流出は発生せず、侵食は生じない。したがって侵食性降雨の示準化のためには降雨実験や自然降雨時の侵食に関する統計資料が不可欠である。黄土高原では、本文で紹介する離石、安塞のほか天水、西峰、子洲など、各地で地勢、土壤、植生、土地利用など様々な地表条件のもとに土壤侵食に関する観測・実験が行われている(写真 42)。次回にはこのことに関して紹介する。



(以下次号)

写真 42 土壤侵食降雨実験

(中国科学院水利部水土保持研究所 (西安))