

## 4 4. 黄土高原 (5)

### (6) 水土保持

#### a) 黄河輸沙

黄河河流の含沙量は図 35 に示したように、世界の著名大河川の中でも群を抜いている。この事実は何を物語っているのであろうか。次ページの図 36, 37 を共にみると、黄河の特質がよくわかる。すなわち含沙のほとんどの給源地がこれまでに述べてきたよ

うに高度に開発が進んだ農耕地帯と重なることである。そこは前号の図 27 にあるように黄土高原の侵食状況の激しい地域となっている。

写真 43 はこの地域に多い耕地の梯田<sup>脚注</sup>化の状況で水土保持対策として奨励されているものの一つである。

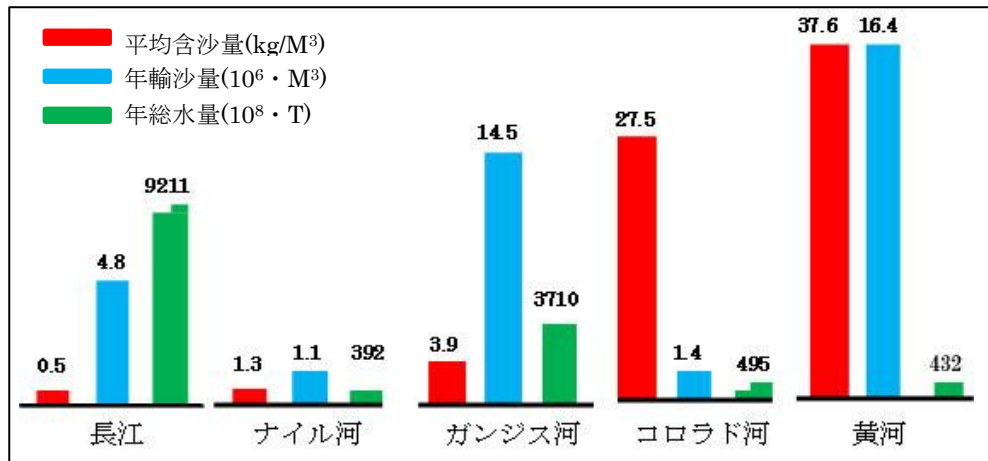


図 35 世界多沙河流の比較 (小浪底水庫資料館, 筆者加筆)



写真 43 農耕地の高度開発と水土保持の両立が課題の黄土高原

しかし一方では前号で触れた黄土層に特有の節理構造に係る“地下侵食”の発達を促し、『洞孔の拡大・陥没→ガリの発達→黄土層の流亡』に繋がり、輸沙を増長しているのではないかと指摘もある(馬 国彦他(1992)など)。

輸沙の原因は他にもある。それは石炭や鉄鉱石などの鉱山開発に係るもので、内モン自治区や山西省側にその露天掘りが各所にみられ、大量の土砂流出を許している(写真 44)。さらには黄土高原を縦横に貫いて走る高速道路をはじめ、各種の建設工事はそれに拍車をかけている(写真 45)。

脚注：段々畑、或いは棚田のことである。中国では有史以前から存在していたが、現代のものはこれを大規模にしたものでその性格は同じ、最近では重機による大掛かりなものが造成されている。



写真 44 山西省山中の石炭の露天掘り

図の左端にある貴徳は青海省にあり、その付近の黄河は溪流状をなし、流速も速い。

頭道拐は寧夏回族自治区の騰格里(トングリ)沙漠の黄河沿岸に位置し、そこから下流は毛烏素(ムウス)沙漠の西縁を流れる。

輸沙量は延安や榆林に近い吳堡から急激に増加し、その傾向は巨大水庫のある三門峡まで続き、輸沙はその殆どがここで堆積し、これより下流ではむしろ減少して河床の低下を生じている。

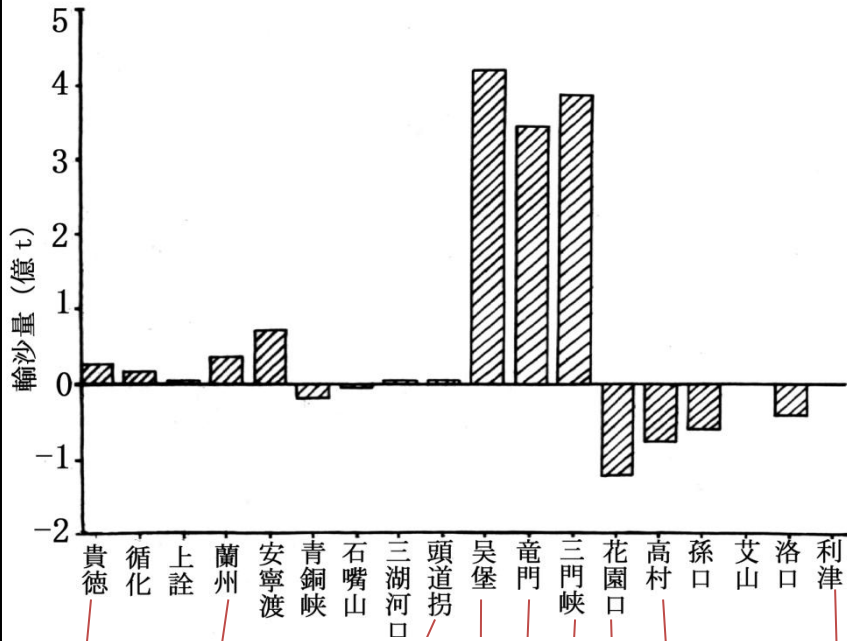


図 36 黄河輸砂量の区間変化

(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)

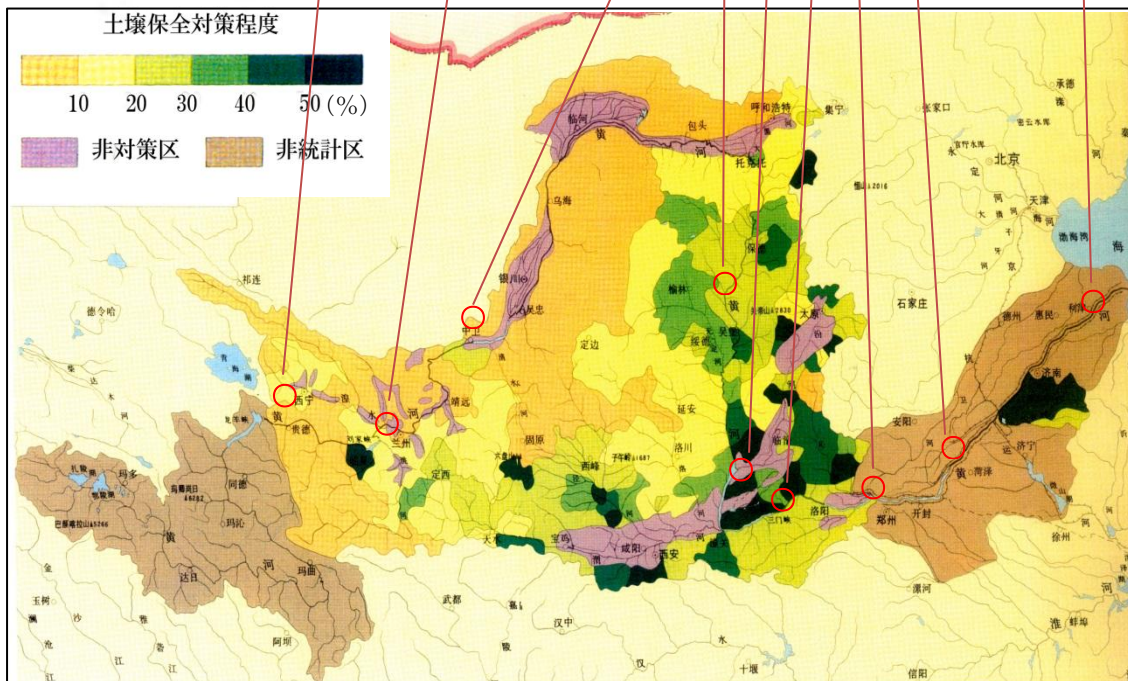


図 37 土壤侵食対策状況

(出典: 中国国家自然地図集(1999), 中国地図出版社)



梁<sup>りょうごう</sup>峯地帯から流送された黄土は平地河川に堆積して、これを天井川と化し、大降雨時には洪水を惹き起こす可能性が大きい。このような状況に対処するための観測所が要所に設けられている(写真46)。



写真 45 黄土高原を貫いて走る高速道路

b) 黄土層の水分特性

輸沙の機構を究明して効果的な対策に繋げるためには、黄土層の性質やそれに係る土壌の水理特性を把握することが肝要である。このことについて考えてみる。



写真 46 輸沙によって天井川化した小河川 (山西省離石、水文観測所)

図 38 にみるように、黄土高原の土壌は北から南へと砂分 70~80%、粘土分が 15%以下の砂壤土帯から、粘土分、シルト分ともに 45%以上といった中~重壤土帯へと変わる帯状分布をなしているのが特徴である。

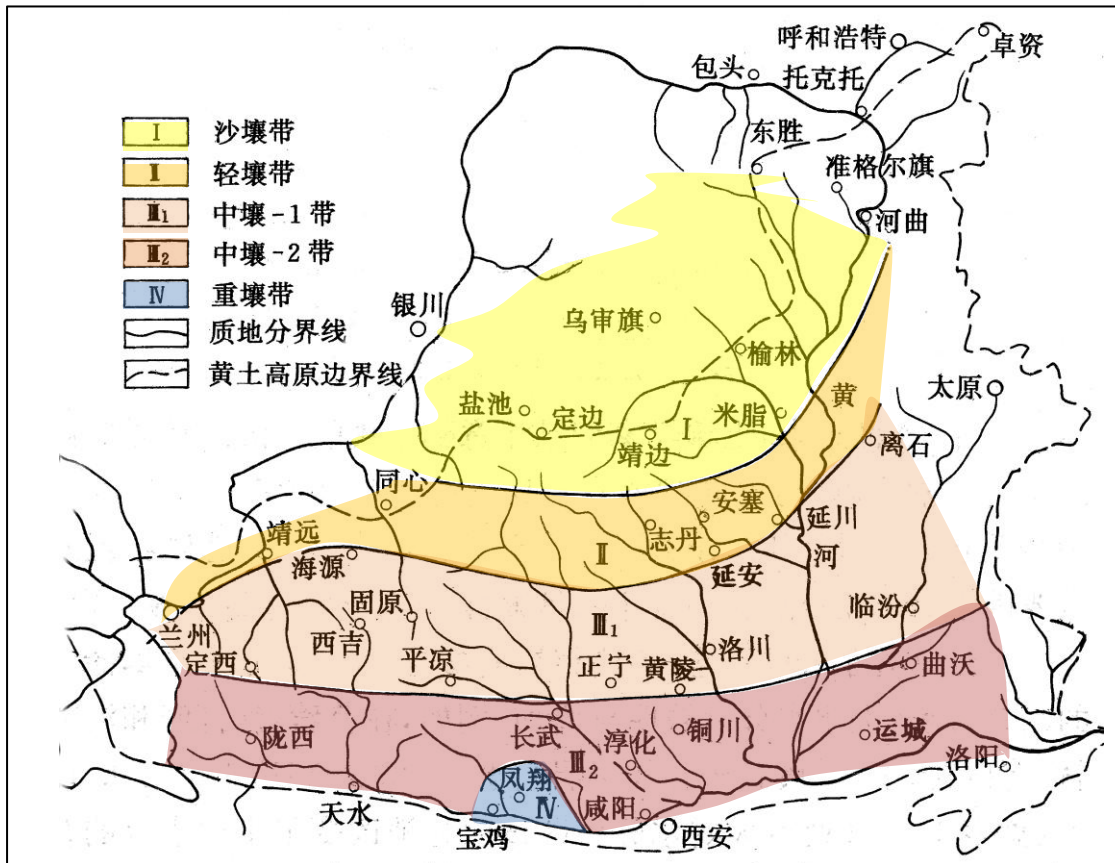


図 38 黄土高原土壌質地分区図 (本シリーズ(1)の図4に同じ)

表層土層の水分特性は土壌質をよく反映する。たとえば圃場容水量（飽和）についていえば、重壤土では乾土重量比で65%以上、軽壤土で50%前後、砂壤土～砂土で30～50%である。なお粘土分の多い重壤土では深度2mまでの総容水量は水柱高で980mmに達し、砂質土では500～700mmである。いずれにしても黄土高原の土壌が年間降水量を優に超えるだけの貯留容量を有していることは注目すべき特質と言える。

ただし言うまでもなく、この地中水分がすべて自由に動き得るものではない。これは粘土分が多くなるほど全体の間隙率が増大し、かつ等価間隙径が小さくなるので、保留される水分量が増加するためである。つまり中～重壤土地帯では重力水以外の水分量の多い状態が維持されているとみてよい。この現象は降雨期の降水が大管隙を通して効率よく地中に浸透できる仕組みともいえる。

輸沙量は前号で触れた山西省離石の王家沟試験流域での観測結果を例とすれば、図39、40にあるように降雨前の土壌水分状態に支配される。すなわちその量は降雨前の土壌水分が多い時ほど大きく、また時間経過とともに増加する。ただし図のトレンドから、時間の経過とともに、また先行含水率の増加と共に“頭打ち”の様相を呈する。

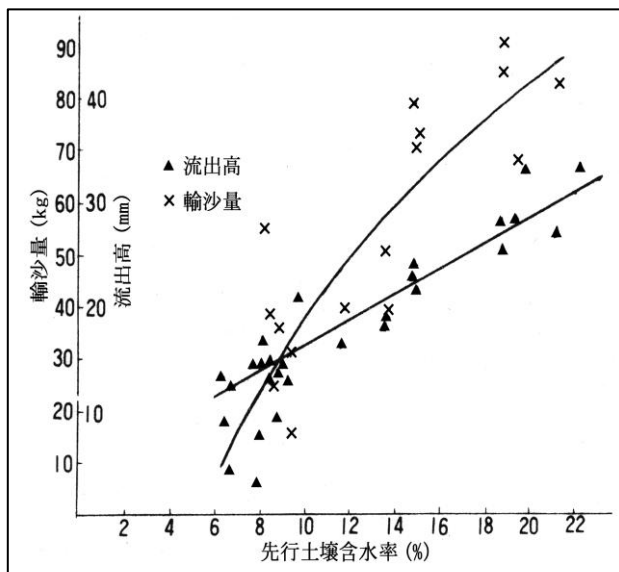


図 39 先行土壌含水率と輸沙量の関係

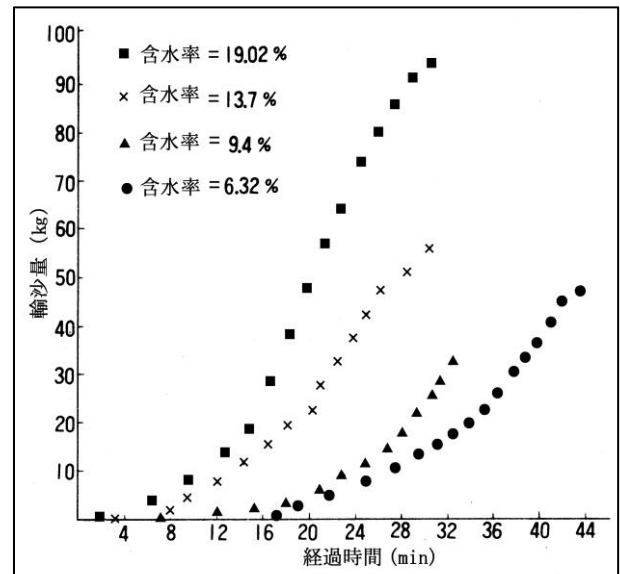


図 40 先行土壌含水率の違いと産沙過程

(出典：賈 志軍他(1990)：前期土壌含水率対傾斜耕地産流産沙影響的研究、山西省水土保持研究所報告)

筆者はかつて多摩丘陵の関東ロームの2次堆積物で覆われた谷頭凹地に発達するパイプを対象として、降雨流出時の排出土砂濃度の変化を追い、図41にみるような結果を得ている。ここでは初期の土砂濃度の急増は地中水圧の急上昇に起因する大管隙（パイプ）からの土粒子の排出機構が関係していると解釈したが、図40の輸沙量曲線も微分すれば図41のようになり、降雨前の乾燥期間に大管隙中に沈積していた土粒子が降雨初期の短時間のうちに“掃き出される”といった機構が働いているものと考えられる。このように黄土層でもローム層と同様に大管隙が土砂排出に重要な役割を演じている

ことは注目すべき現象といえる。このようなかたちの繰り返しによって拡大した管隙は洞孔へと拡張することになる。

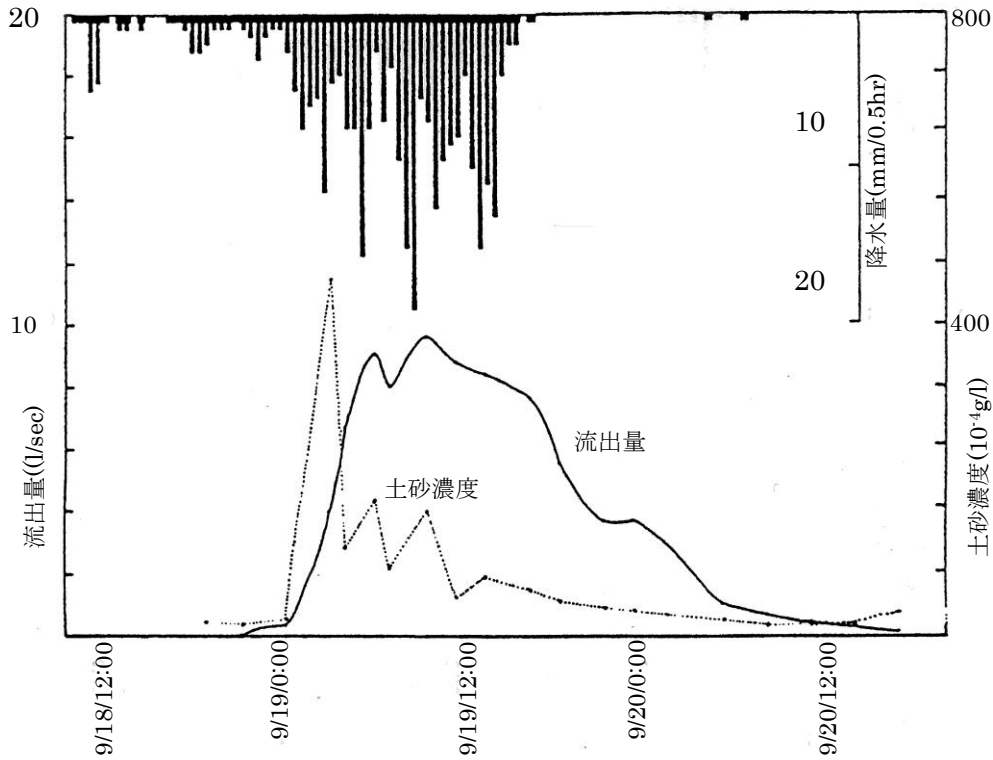


図 41 大雨時におけるパイプからの流出と土砂濃度変化  
(多摩丘陵の関東ロームの2次堆積物で覆われた谷頭凹地)

年間の土壤水分の状態はおよそ3期に分かれる。第1期は雨季が始まる前の4月から7月までの無降雨期間で、水分供給が少ないため、土壤水分の消耗が一方的に進み、表層40cmまでの含水率は1~2%にまで低下する(消耗期)。第2期の7月から9月までは

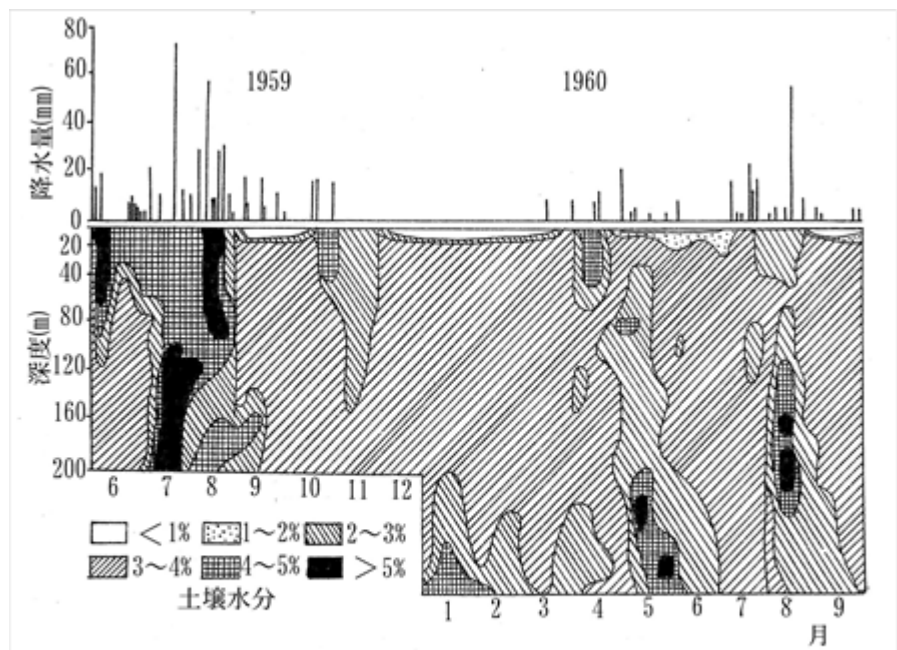


図 42 砂壤土における含水量等値線(毛烏素沙漠、榆林地区)  
(出典: 陳 隆亨等編著(1998):中国風沙土、科学出版社)

雨季にあたり、土壌の含水率は上昇して3~4%、時には5%以上に達することがある。このころ重力水は深度300cm以深にいたる(供給期)。雨季後は土壌水分の一部は下降を続ける一方、一部は保持されて消耗期の水分を補う(穏定期)。

前ページの図42は黄土高原の北限に近い榆林地区における砂壤土での降雨浸透状況を含水量等値線図で表したものであるが、上記の供給期における降雨浸透状況がよく捉えられている。同じような図を図43に添えておく。これは騰格里(トングリ)沙漠南縁にあたる黄河沿岸の風沙土の例である。降水量はきわめて少ないが秋季には10mm程度の降水が多数回もたらされ、2~3%の含水量が維持され、余剰水は重力作用によって下方に浸透することができる。

雨季が始まる前の極乾燥期には、厚さ30cmに達する乾砂層<sup>注)</sup>が形成される。なおこの乾砂層は流動風沙層からなる荒漠地では1m以上に達するところがあり、その含水率は2%を超えることはない。

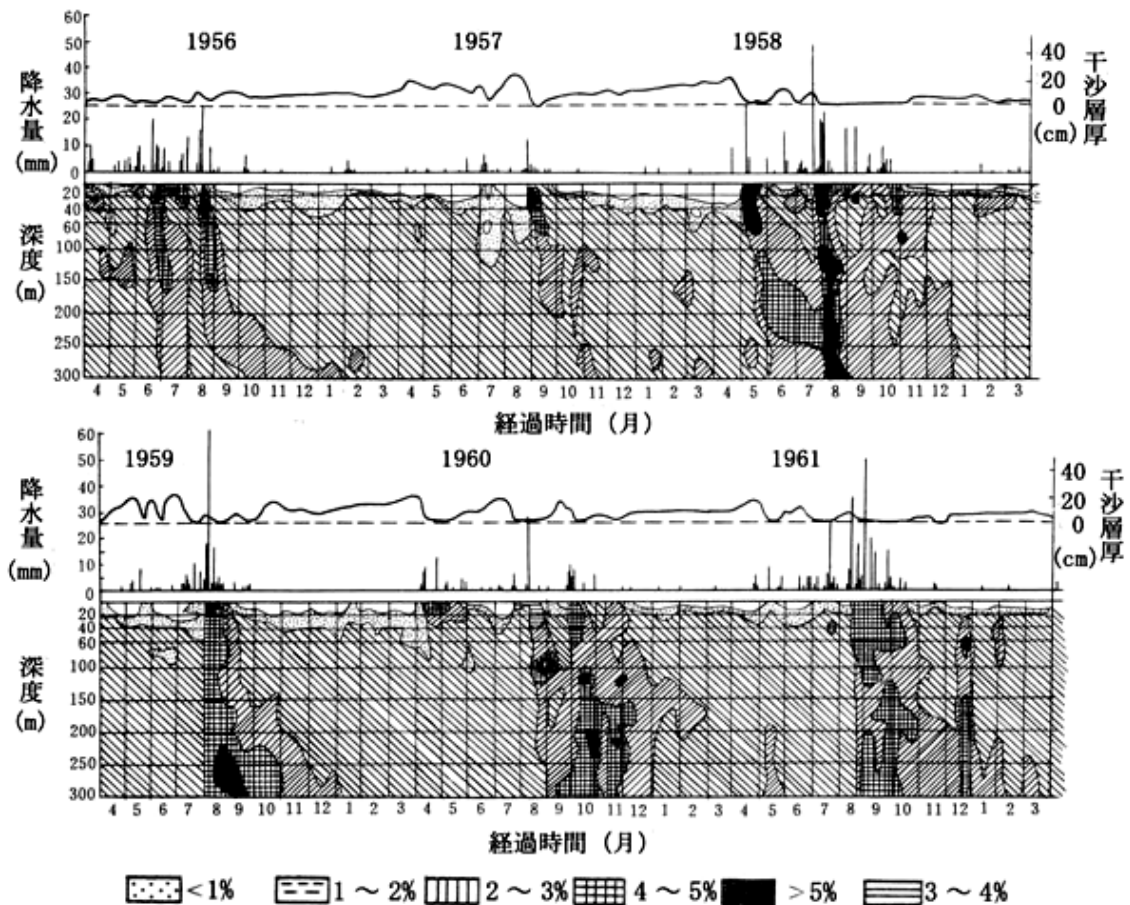


図43 風沙土における含水量等値線(騰格里(トングリ)沙漠南縁黄河沿岸)

(出典: 陳 隆亭等編著(1998):中国風沙土、科学出版社)

脚注: 図にあるように中国では“干砂層”の字が当てられている。これは毛管上昇高のほぼ上限深度までにあたり、極度に乾燥した状態では毛管が切れるため、これより下層部では乾燥しにくくなる。これは乾燥地の砂層表層部に出現するのが特長で、降雨時には消滅する。



さて黄土層の表層部に形成される薄膜状の被覆を“結皮”と称するが、これは降雨時の地表流の発生とガリ侵食に関わる一方、風力侵食を抑止する効果もあり、功罪半ばする特徴を有しているので、その評価をめぐる研究も多くみられる。

この結皮は土壌粒子が微生物によって結合されてつくられる場合、つまり bio-crust (写真 47) が主なものであるが、その他に有機物の少ない土壌が大雨時の雨滴の打撃を受けてつくられる場合、さらには炭酸塩鉱物の膜様組織など、さまざまなものがある。

その厚さは一般に 3 mm程度と薄いですが、図 44 のように降雨浸透を阻害し、地表流を発生し易くして産沙量を増大させている (図 45)。



写真 47 生物結皮(bio-crust)の一例  
(風沙土の定着後に出現)

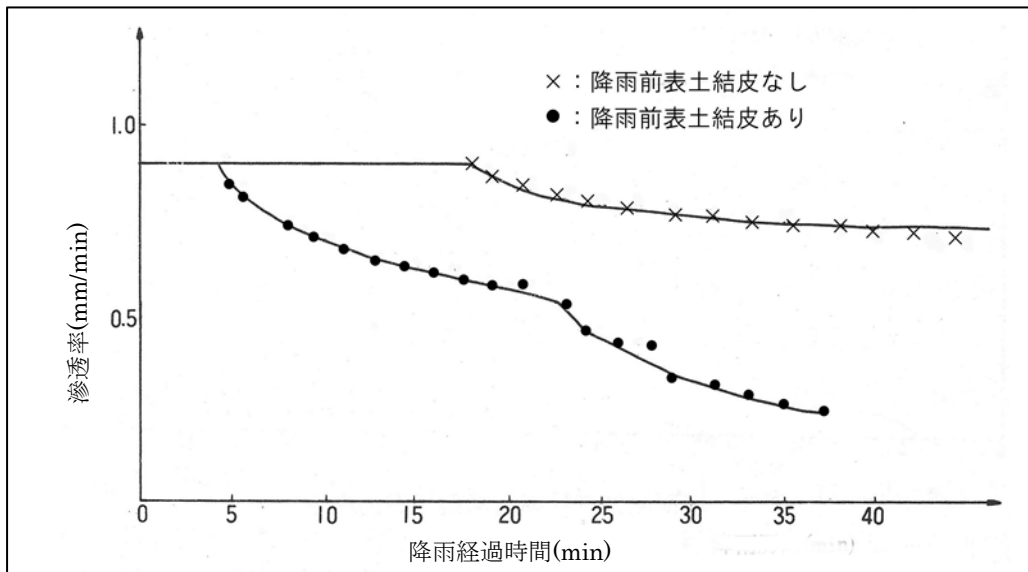
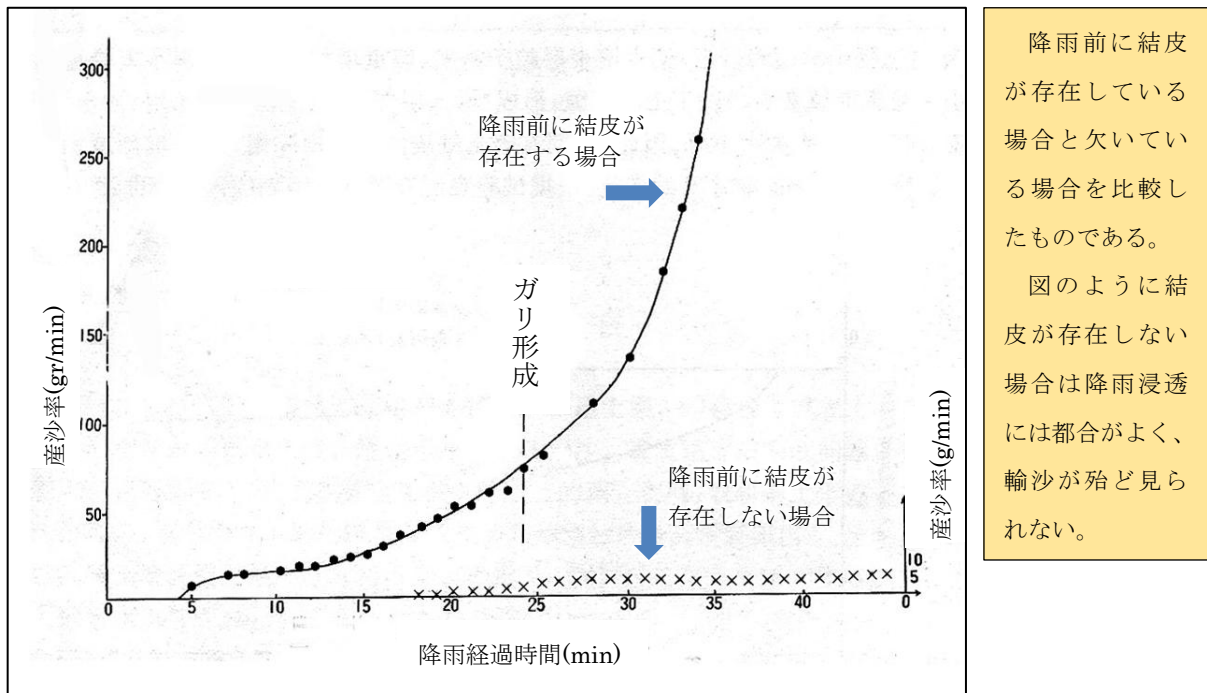


図 44 降雨前の結皮の有無による浸透率の違い

〔 出典：蔡 強国他(1990) 坡耕地表土結皮对降雨径流和侵食産沙過程的研究、  
山西省水土保持研究所報告集 〕

なお図 44 にみる折点、また図 45 にみる産沙率の急上昇は斜面上に形成されるガリの発達に関係している。すなわちその拡張と短縮によって輸沙能力が加速的に増加したことを意味する。



降雨前に結皮が存在している場合と欠いている場合を比較したものである。  
 図のように結皮が存在しない場合は降雨浸透には都合がよく、輸沙が殆ど見られない。

図 45 結皮の有無による傾斜地からの輸沙量の違い

(出典：図 44 に同じ)

c) 水土保持研究

水土保持は黄土高原だけではなく中国全土的な課題になっている。1991 年には「中華人民共和国水土保持法」が成立し、中国国务院直属事業単位の科学院をはじめ、大学関係部局、省政府管轄下の研究所が関連課題の教育・研究にあたっている。

筆者はこれらのうち、中国科学院の地理研究所、西北水土保持研究所、同蘭州高原大気物理研究所の他、黄河水利委員会をはじめ、北京林業大学、北京師範大学、山西省水土保持科学研究所などを訪問して知見を得てきた。しかしその詳細を系統立てて述べるだけの蓄積を得るには至っていない。更に数回の現地調査が必要と考え、関係機関にその便宜をお願いしているところである。

以下は水土保持研究とその実践に成果を上げてきた研究所の紹介である。

① 山西省水土保持科学研究所

当研究所は 1955 年に水利部直属の機関として設立されたもので、関係全省庁の水土保持研究の一端を担い、晋西黄土丘陵を刻む谷系を通して進行している水土流出機構を追究解析し、各地の同型の研究所との協調によって成果を深めてゆくとしている。

技術関係では「土壌侵食室」、「総合技術室」、「設計室・試験場」があり、科学技術者は 49 人で、全体の 58% を占める。

開設以来 40 余年の間、応用科学研究を主体として進め、特に小流域（王家溝＝前号図 30 参照）を対象として以下の研究を進めてきた。

i. 水土保持を前提とした土地の合理的利用法



- ii. 小流域生態農業（循環系重視）
- iii. 乾燥地農業に特化した蓄水、土地改良技術
- iv. 人工降雨実験
- v. 傾斜地の防災、土地利用
- vi. 晋西黄土丘陵階段耕作地の施肥増産技術研究

以上に加えて1986～1990年にはカナダの大学との共同研究が行われ、また1995年からは「晋西塔状丘陵棚田農地系統総合研究」が続けられている。写真48, 49は施設の一部で、中型のライシメータが斜面上に列をなして並んでいるのは圧巻である。ここでは水土保持研究と併せて各種の試験栽培が行われている。またライシメータ群は角度を変えて複数段設けられている。



写真48 自然斜面を利用したライシメータ①  
(山西省離石 山西省水土保持科学研究所)

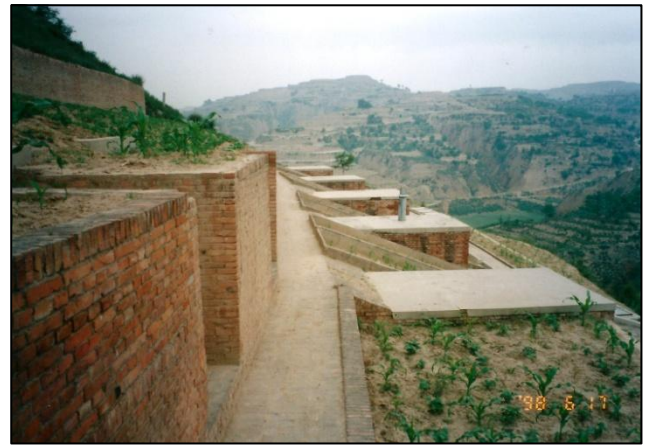


写真49 自然斜面を利用したライシメータ②  
(山西省離石 山西省水土保持科学研究所)

この研究所の実験地が立地する王家沟はかつては黄土が流出堆積して荒廃地と化していたが、写真50, 51および図46(○印)にあるように高さ20～30mの堰堤によって土砂の堆積を促して写真51のように耕地として整備し、美田を蘇らせたとのことである。これは水土保持研究の成果と言える。なお前号の写真37はこの場所に掘られた井戸で、この堰堤の上流に堆積した“人工帯水層”が対象となっている。



写真50, 51 堰堤によって溝底に堆積した黄土と、それによって造成された農地  
(山西省離石 王家沟)

## ② 安塞水土保持総合試験場

当研究所は 1973 年中国科学院水利部水土保持研究所により、<sup>こうどきゅうりょうこうがく</sup>黄土丘陵溝壑区（壑とは谷の意味）の野外研究施設と中国科学院生態系統研究施設の連携施設として設立されたものである。

黄土高原の典型的な場所であり、土壌侵食や水土保持に関する課題を抱えていることと、退化生態系統の実態と合わせて、複合農業生態系統に関する長期定点研究、持続的研究施設として設置されたもので、人材育成の場としての意義も大きい。

研究領域は

- i. 生態因子の長期観測
- ii. 土壌の侵食過程とその抑止
- iii. 水土保持型生態農業
- iv. 小流域複合生態系統管理技術

実験地のある紙坊小流域実験施設は充実しており、“水土保持型生態農業”試験地としての模範となっている。

ここで圧巻ともいえる施設は実に多様なライシメータ群が設置されていることで、写真 52 はその遠望。またその左側斜面には写真 53 に見る斜面長数十メートルに及ぶ長大な多目

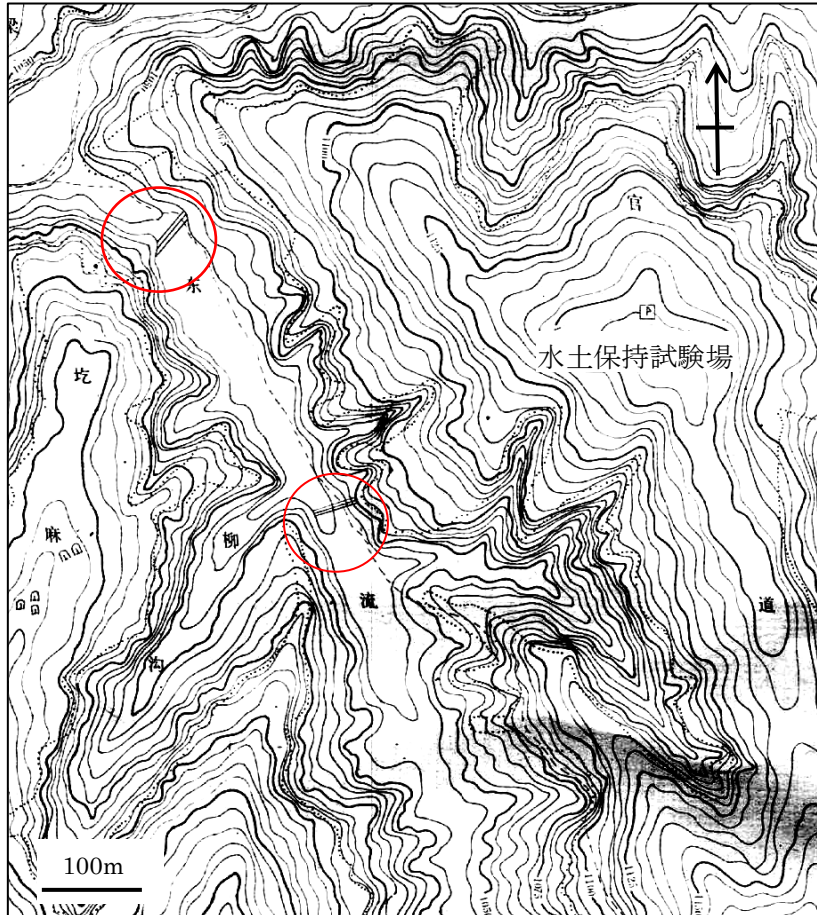


図 46 水土保持試験場と堰堤



写真 52 稜線直下に設置されたライシメータ群

(陝西省安塞 水土保持総合試験場)



的ライシメータや、写真 54 のように耕作形態や作物種、給水方式などを変えた多様なライシメータが用意されている。

### ③ 西北水土保持研究所

西安市郊外にある。この研究所は 1956 年に中国科学院西北農業生物研究所として設立され、その後数度の改組を経て、1995 年に現在の中国科学院水利部水土保持研究所となった。上記の安塞水土保持総合試験場はこの研究所の所管で、他に長武黄土高原農業生態試験場、固原生態試験場がある。



写真 53 最長 50m に及ぶ巨大ライシメータ  
(陝西省安塞 水土保持総合試験場)

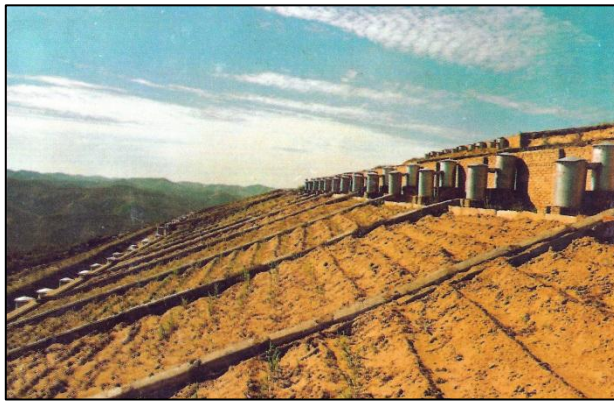


写真 54, 55 自然斜面を利用したライシメータ  
(陝西省安塞 水土保持総合試験場)

立派な研究所で所員数 320 人、うち研究者数は 200 人を数える。

なお同所に敷設してある大型降雨実験施設は我が国の防災科学技術研究所のものをモデルとしている。

#### d) 課題

本シリーズの中心テーマとして、黄土丘陵溝壑区こうどきゅうりょうこうがくの稜線部（梁峁）、台地部（台塬）、梯田化耕作地

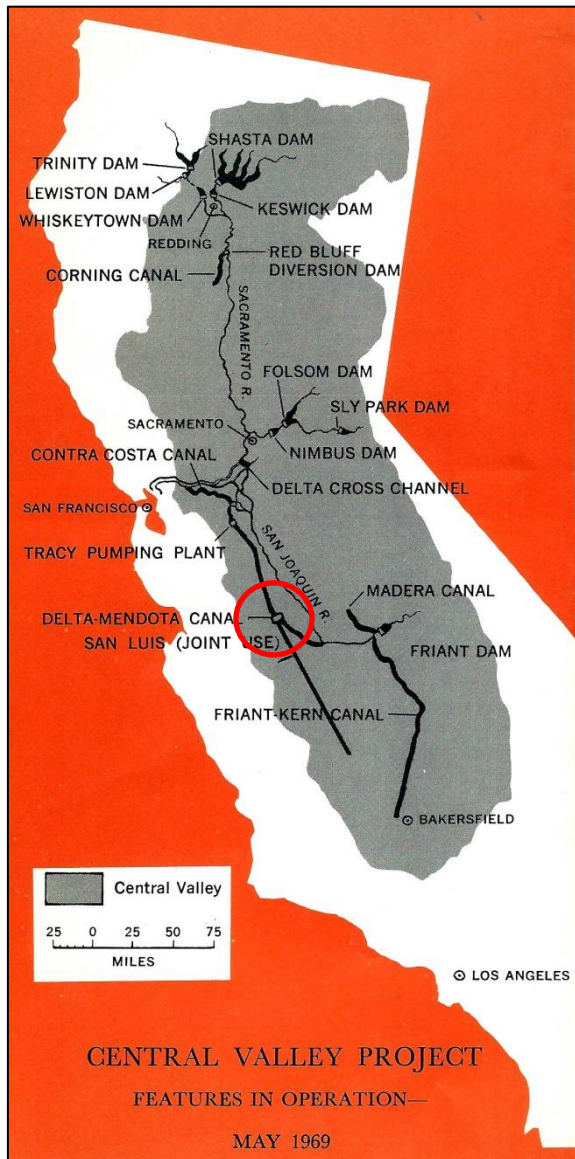


写真 56 西北水土保持研究所の研究者と意見交換  
(前列中央は筆者)



などによくみられる窪地（黄土碟）、または陥没孔（陥穴）から発達した巨大パイプ（黄土盲沟）、そしてそれをもととしたV字谷（沟床）が黄土の流出に大きく関わっていることを紹介した。しかし、なお課題を抱えている。その一つはこれらの地形形成の潜在的素因に関するものである。

これに関して思い出されるのは、筆者が40年ほど前にカリフォルニア州のサンヨー



キンヴァレー（San Joaquin Valley）を北から南へと縦貫する”California Aqueduct”建設の現場を視察した時の体験である。この工事はダム建設などを含めた”Central Valley Project”の中心とも言えるものであったが、図47の○印にあるメンドータ（Mendota）など、1920年代の中ごろから始まる地盤沈下の激しい地域を縦貫しなければならず、これが導水路計画の障害と考えられ、詳しい調査が行われた。

地盤沈下の原因として、規模の大きいものから、①地下水採取と水位の低下、②ハイドロコンパクション（Hydro-compaction）、③石油、天然ガスの採取、④テクトニクス、⑤ピート質土壌の酸化と圧密、があげられた。

これらのうち、比較的浅いところで発生するハイドロコンパクション<sup>脚注</sup>による沈下は、導水路のコンクリートライニングの継ぎ目や劣化亀裂部分からの漏出水によって誘発される可能性が大きいとして特に注目された。

この地域は東側に分布する白亜系の丘陵性山地から供給された碎屑物が広がって台地をつくっているが、その地質は水

図47 カリフォルニア州“Central Valley Project”（1969）

気が少ない環境で、かつ急速に堆積したもので、間隙率が高く、水を含むと収縮する性質がある。写真57、58はそのような作用によって出現した地形で、陥没によって出来た亀裂が縦横に走っている。また写真59はコンクリートライニングの継ぎ目からの漏水による地盤変位を模擬した実験で、矢印部分にあるように水路の変形が再現されている。

脚注：密度の小さいシルト～砂質の堆積物において、不飽和状態のもとでキャピラリテンションによって維持されていた間隙構造が水分を得ることによって収縮・破壊し、沈下する現象である。ハイドロコンパクションを生じやすい地質は未成熟な堆積物や埋め立て土などに多くみられる。



写真 57 ハイドロコンパクションによる地盤変形  
(カリフォルニア州メンドータ)

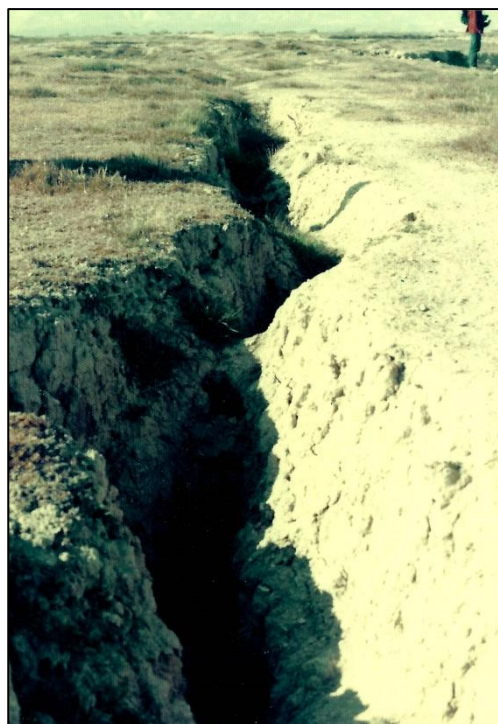


写真 58 写真 57 の近接



写真 59 試験導水によって発生した地盤沈下

上記の例は黄土層にも同様な性質が潜在していることを示唆しており、今後の水土保持研究の課題として、“水と地盤変形”に関して、素因面からも追究する必要があると感じている。

(「黄土高原」の項終了)