HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	中国南西部カルスト地域を事例とした石漠化および砂漠化問題の実態
Author(s)	竹下, 正哲; TAKESHITA, Masanori
Citation	北海道大学 演習林研究報告, 60(2), 61-77
Issue Date	2003-08
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/21482
Type	departmental bulletin paper
File Information	60(2)_P61-77.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

中国南西部カルスト地域を事例とした石漠化および砂漠化問題の実態

竹下　正哲[1]

Actual conditions of the Karst degradation and desertification with a case of Karst region in China

by
Masanori TAKESHITA[1]

要　旨

世界の人口が60億人に達した現在，地球の環境はかつてない規模と速度で改変されている。森林破壊と砂漠化もそんな環境改変の典型例として認識され，世界中で様々な緑化活動が展開されている。しかし砂漠化した土地に森林を復元しようとする従来の緑化活動が，果たして砂漠化問題の根本的解決となるか改めて考えてみると疑問である。筆者は石漠化が問題となっている中国のカルスト地域を対象地として，森林を復元することが石漠化（砂漠化）問題の解決となりえるのかを検討した。その結果，石漠化（砂漠化）とは人口増加に伴って土地の環境扶養力が飽和に達し，そのために土壌浸食や地下水汚染などの形で土地が劣化していく現象であると考えられた。そのような土地に植林をすることは問題の根本的解決に直結しておらず，本研究対象地のようなカルスト・ドリーネ地域では，とくに森林造成による水源涵養機能や浸食防止機能の向上は期待できないと判断されたことから，持続的農業生産（生産緑地）の環境保全的評価やその他の生活向上政策も含めた総合的対策が必要と考えられた。

キーワード：石漠化，カルスト，人口爆発，砂漠化，植林

2003年2月27日受理，Received February 27, 2003

1：北海道大学大学院農学研究科環境資源学専攻森林管理保全学講座砂防学分野，札幌市北区北9条西9丁目，060-8589
Laboratory of Erosion Control, Division of Environmental Resources, Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, Kita 9 Nishi 9 Kita-ku, Sapporo, 060-8589

はじめに

国連の統計によると，世界人口が10億人に達したのが1804年，50億人に達したのが1987年，そして60億人に達したのが1999年10月12日とされている。つまりここ12年の間に10億人もの人口が増えた計算になる。この人口増加が今後ますます加速されていくのはほぼ確実であり，それに伴う環境改変（破壊）は人類がかつて経験したことがない規模になるはずである。

人類が環境を改変してきた歴史は古く（Darby, 1956; Sauer, 1956; Meiggs, 1982），古代の頃より森を切り開いて畑を作り，家畜を飼い馴らし，低平地に潅漑を通してきた。しかしそれらはいずれも地域的な改変であり，地球規模の環境にはほとんど影響を及ぼすことがなかった。それが産業革命以後の300年間で，人類はかつてない速度と規模で環境を改変してきた。その影響範囲は今や地球規模に及び，およそ陸地表面の30～50％が人間の手によって改変され（Vitousek et al, 1997a; Daily, 1995; Turner, 1990），大気中の二酸化炭素は30％近く増加し（Vitousek et al, 1997a; Houghton, 1995），大気中の窒素は過剰に固定された（Galloway et al., 1995; Vitousek et al., 1997a,b）。もはや地球上で人間の手がおよばない生態系は皆無と言ってよい状況であり，またそのような環境破壊は将来危惧される問題ではなく，今まさに進行している問題といえる。

森林破壊と砂漠化も地球規模の環境問題の一つである。現在も世界中で森林が減少し続けている。その原因は多岐にわたるが，一番根本的な問題は人口爆発による農地の拡大にあると思われる。人口が増えれば，食料生産も増やさねばならず，そのためには森を切り開き，畑を作らざるをえない。また移動耕作（焼き畑）や移動牧畜の場合は，休閑期を短くして回転率を上げざるをえない。

このような人口爆発を背景として森林は伐採され続けてきた。国連の統計によると，1990年から2000年にかけての10年間で世界の森林は14.6×10^6ha 伐採されている（FAO, 2001）。しかし一方で様々な植林活動が展開されており，同じ10年間で1.6×10^6ha が植林され，天然林が3.6×10^6ha 拡大している（FAO, 2001）ことから，トータルでは9.4×10^6ha の森林減少ということになる。

植林をし，失われた森林を復元することは，地球環境から見ると理想的といえるが，果たして植林行為が砂漠化の根本的な解決になりえるのかと改めて考えてみると，疑問である。そこで本研究では，カルスト・ドリーネ地域をケーススタディとして，荒廃した土地に森林を復元することの意義について検討することを目的とした。またその結果より，現在地球全体で進行している砂漠化について若干の再考察を行った。

研究方法

1）砂漠化の歴史と調査地の位置づけ

砂漠化をめぐる日本人の意識と，実際に砂漠化が進行している現地の意識とでは，かなり認識の差があるように見受けられる。そこで砂漠化（desertification）とはいったいどんな現象を指しているのか，その歴史的変遷を簡単にみてみる。

Batterbury and Warren（2001）を参考にそのような砂漠化の歴史をまとめると，およそ以下のようになる。砂漠化をめぐる歴史は古く，1920年代には既に科学者たちはアフリカでの“砂漠の前進と拡大”に関心を払っていた。その後フランスが西アフリカを中心に研究を進め，砂丘が移動している証拠，現在の乾燥地に人の化石が残っていること，毎年降水量が減少していることなどを発見し，サハラは成長していると結論付けた。それは1930年代アメリカ Dust Bowl の大浸食問題の前触れとして受け止められ，1935年に出版された‘Deserts on the March’（Sears, 1935）は世界中で議論を巻き起こした。その著書の中で Sears は人間の不適切な管理によって環境が劣化していると主張しており，その流れを受けた Stebbing（1935）は，西アフリカの環境劣化は移動耕作，休閑期の短縮化，過放牧が原因であるとした。そして英仏森林委員会が1936－37年にニジェール・ナイジェリア国境を視察し，そのメンバーの一人であったフランスの著名な植物学者 Aubreville が「砂漠が前進している」という仮説を説き，1949年に世界で初めて「砂漠化（desertification）」という概念を提唱した。

1970年代にアフリカで深刻な干ばつと飢餓が続出すると，砂漠化の議論が再び活発となり，1977年にナイロビで国連砂漠化会議（UNCOD）が開催される運びとなった。それによって砂漠化に関する基礎データの蓄積が可能となり，より長期的な視点で砂漠化を観察することができるようになった。その結果，1930年代に主張されたサハラが進行・拡大しているという仮説に疑問が投げかけられることとなり，Hellden（1991）は人工衛星画像，人の移住歴史，砂丘の動態そしてボーリング穴周辺の劣化状況などから判断し

て，砂漠が進行している証拠は見あたらないと報告している。そして1992年に開催された国連環境開発会議（UNCED）では，砂漠化とは「乾燥・半乾燥地において，気候変動・人間活動などの様々な要因によって引き起こされる土地（土壌）の劣化」であると定義が修正されることとなった。

このように砂漠化に対する認識は徐々に変遷してきており，それに対する国連や各国の対応も時代とともに変容してきた。例えば，科学者が「砂漠が進行している」と指摘した際には，それに対して「グリーンベルトの植栽を！」という一大ムーブメントが世界中でまきおこった。ルーズベルト大統領はDust Bowlへの対応として，テキサスとノースダコタの間にグリーンベルトを造成しようとし，国連（UNCOD）もサハラを取り囲むようにグリーンベルトを作ることを提唱した。アルジェリアでは実際に兵を徴集して植栽活動が展開された。

しかしそれらの活動のほとんどは地域住民の意識や協力を無視したものであり，現地の事情と矛盾することがしばしばであった。例えばブルキナファソでは，浸食を抑えるためにブルドーザーを使って大がかりな土堤が造成されたりしたが，それはかえって浸食を増大させる結果となったし，ニジェールでは非現実的なグリーンベルトの造成努力が進められ，マリでは森林や草地を焼くことが禁止された。他の国々でも砂漠化の根本的な問題を解決しないまま，放牧や木の伐採，焼畑などが禁止されたりしたが，それらの活動によって砂漠化が抑えられることはなかった。その後1992年にリオで開催された国連環境発展会議（UNCED）では砂漠化への対応策が見直され，グリーンベルトの造成や焼畑の禁止などに代わって，干ばつへの備え・教育・地域住民の参加の必要性などが強調されることとなった。

このような世界の流れを見てみると，砂漠化というのは初期の「砂漠が前進・拡大している」という誤った概念から始まっており，それは次第に認識を改められてはきているものの，未だ明確な解決への指針が存在していないことが分かる。

例えば日本でもサハラ周辺の砂漠化に対する問題意識はかなり高く，地球温暖化問題とも結びついて主要な環境問題の一つと認識されているが，多くの場合，砂漠化とは単純に緑が減少していく現象だと理解されているふしがある。そのため日本の多くのNGOや有識者たちは，かつてのグリーンベルト運動を引きずるように，砂漠化した土地に森を作りに行こうとする。そして緑化技術の国際移転に膨大な資金を投入し，大規模な灌漑を作り，砂漠に忽然と森を造成しようとしたりする。しかしそのような森は，日本側が引き上げたとたんに現地の人たちの手によって切り倒されてしまう場合が多い。葉は家畜に食べられ，幹や根は燃料として使われる。

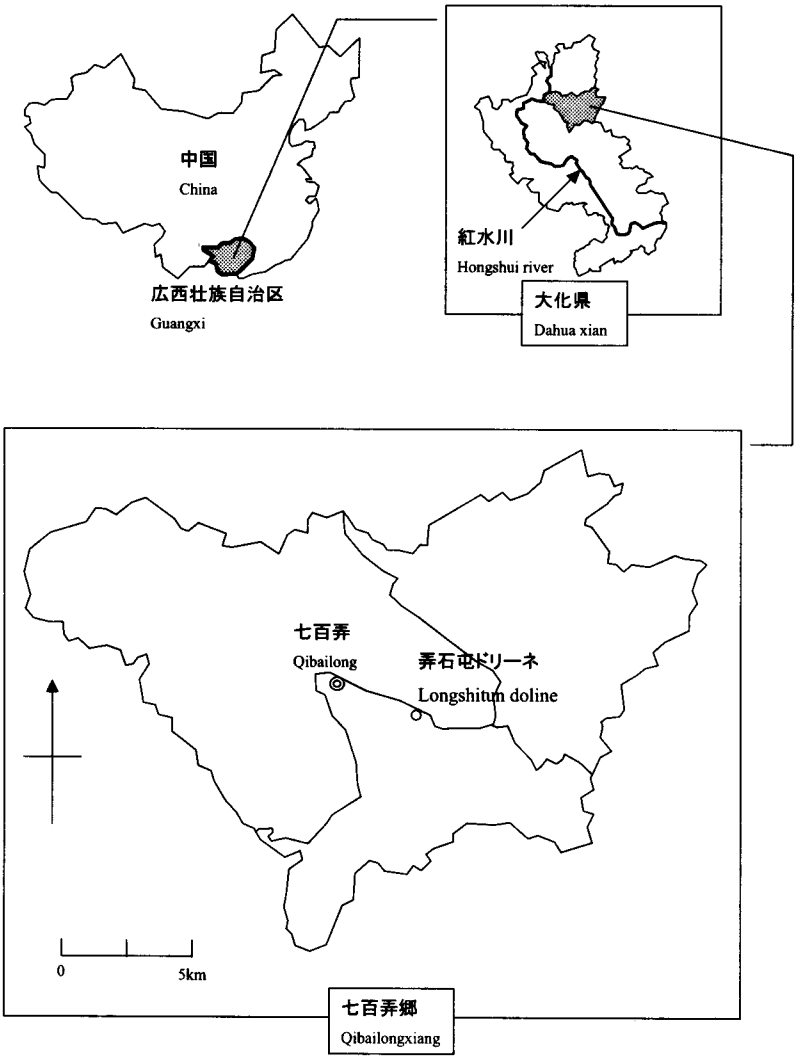
このような歴史的背景を考慮に入れて森林減少や砂漠化を考えた場合，緑化技術移転にとっての主課題は，植林技術を開発するだけではなく，そこの地域の生活をどう改善していくかにかかっていると思われる。

本研究ではそのような視点のもと，砂漠化のケーススタディとして中国南西部石灰岩地帯の石漠化（Karst Degradation）を取り上げた。石灰岩地帯はその地質の特質上，急峻な岩峰と溶食凹地（ドリーネ）が連なる特異な景観（カルスト・ドリーネ地形）を形成する。切り立った岩峰が延々と連なっており，平地は岩峰間のわずかな凹地に限定されている。そのため住民は急斜面を利用した効率の悪い農業を余儀なくされている。またこれらの地域では，溶食と呼ばれるカルスト特有の浸食様式のため地下水脈（鍾乳洞）が発達しており，多量の降水があるにもかかわらず河川流水がなく，天水・湧水に依存した農業は困難を極めている。中国ではこのような石灰岩山地における生態系の劣化現象を石漠化と呼んでおり，環境並びに貧困問題として最重点課題の一つに数えている。

本研究対象地とした中国南西部広西自治区七百弄郷もまさに石漠化が危惧されている地域であり，急激な人口増加と長い人間活動（農地の造成・家畜の放牧）によって森林生態系が破壊され，土壌浸食が著しく進行し，その結果土地の生産性が低下して，人々の生活が困窮しているという典型的な環境破壊プロセスが，人民政府より報告されている（中国広西大化揺族自治県人民政府，1996）。そして今後予想される人口増加に伴って，さらなる環境劣化が危惧されてもいる。それは世界各地の砂漠化が進行している地域とまったく同じ事情であり，ひいては現在地球が直面している人口問題のケーススタディとして捉えることができる。

2）調査地概況

調査地は中国南西部，広西壮族自治区大化県の七百弄郷と呼ばれる地域に位置する（Fig.1）。そこは中国華南から地中海沿岸にまで連なる大石灰岩地帯の一



図－1 調査地位置図
Figure 1. Location map of the study area

部であり，それは古生代から中生代にテーチス海に堆積したものとされている（漆原，1996）

本調査対象地である七百弄郷は典型的カルスト・ドリーネ地形であり，3570もの急峻な山々が1124個のすり鉢型ドリーネを取り囲んでいる。そのうち324個のドリーネにそれぞれ数十人規模の人々が集落を作り，500年以上に渡って自給自足的生活を送ってきた（鄭ら，2000）。

これらのドリーネ地形の中から弄石屯ドリーネを研究調査地として選定した。弄石屯ドリーネの集水域は200ha 以上あるが，傾斜角40度を超す急傾斜地が大部分で平地は底部の約 4 ha にすぎない。標高は最深部で605 m，山頂部は900 m 以上に達し，河川はない。

亜熱帯気候に属し，夏の日平均気温は25℃，冬は12.6℃と温暖だが，最低気温が5℃を下回る日も年に数日出現する（高橋ら，2000a）。年降水量は1719.5mm，日最大降水量は126.0mmであり，10月から 3 月までが乾季になっている（高橋ら，2000a）。斜面の至る所に見られる露頭は石灰岩だけでなく，ドロマイトまたは両者の中間的性質を持つ岩石も多く混じっている（八木・丹下，2000）。

このように過酷な自然条件であり，人為的攪乱に

対して耐性の低い生態系と判断される。現地では「九分の石と一分の土，一度暴風雨があれば水浸し，三日降らねば土煙が上がる大石山区」と表現されている（中国広西大化揺族自治県人民政府，1996）。

七百弄郷の人口は1995年時点で16585人であり，弄石屯ドリーネは2000年時点で94人であった。七百弄郷は気象的条件からは年間300日間もの栽培可能日数があるにもかかわらず，一人あたりの穀物消費量は公式発表上73kg/人であり，世界平均値の323kg/人からほど遠い世界最低レベルにある（波多野ら，2000）。人民政府はこのあたりの地域を貧困との戦いの主戦場と位置づけており，村人の生活を「椀一つにひさご一つ，一つの麦わら帽子は三人で。急傾斜の石灰岩に挟まれたわずかな土地で，細々と農業を営み，生きるも死ぬも天命のまま」と表現している（中国広西大化揺族自治県人民政府，1996）。

ただし波多野ら（2000）が農家10軒の聞き取り調査を行ったところ，一人あたりの穀物消費量は262～814kgと公式発表とは大幅に異なる値を示しており，食糧需要が極めて高い地域とは一概には言いきれない。また現地住民の着衣から，着るものにも事欠くほどの危機感は見受けられなかった。つまり現在のこのあたりの地域は，公式発表ほどの飢餓線上にはなさそうであるが，出稼ぎを必須とする低所得な貧困地域であることに間違いはない。

以上のように，この地域は急峻な山に囲まれたカルスト地形として特徴付けられており，人々は幾つかのドリーネを生活単位とする半閉鎖的な生活を長い間送ってきた。少ない平地と急斜面，乾季の水不足などの自然条件が人々の生活を極端に制限しており，そのためこの地域は人口そのものは決して多くないにも関わらず，利用可能資源に対する人口割合は非常に高く，人口過密・低所得地域としてとらえることができる。それは現在世界が抱えている問題，すなわち人口増加による環境との不調和の縮図と言える。

3）研究および調査方法

人口増加に伴う森林減少の状況と，生態系の破壊実態についての把握を試みた。人口と森林データについては，既存の文献を利用した。生態系の破壊実態については，森林の消失に伴ってまず危惧されるのが土壌流亡・浸食であることから，弄石屯ドリーネの土壌の分布・厚さ・移動状況について現地にて観測した。その際，土壌層や崖錘の分布・移動状況については，それぞれ分布域の把握と土砂堆積深の測定，ならびに豪雨後における移動痕跡の調査を行った。弄石屯ドリーネにおいて10m～30mのラインを3地点取り，およそ50cm間隔で検土壌を土壌に差し込むことにより土壌深を測定した。

現在の土地利用や森林状況を把握するために，現地計測および地形図をもとに弄石屯ドリーネのGISデータを作成し，GISデータを重ね合わせることにより，人々の生活と自然環境との関連性について検討した。

これら生態系破壊の実態および住民の土地利用様式を把握することにより，石漠化の実像を理解しようと試みた。その上で，この場所に新たに森林を造成した場合に期待される浸食防止機能や水源涵養機能について，地形や土壌の分布状況および既存の水文データなどから若干の考察を行い，そこから荒廃地に森林を復元することの意義について検討した。

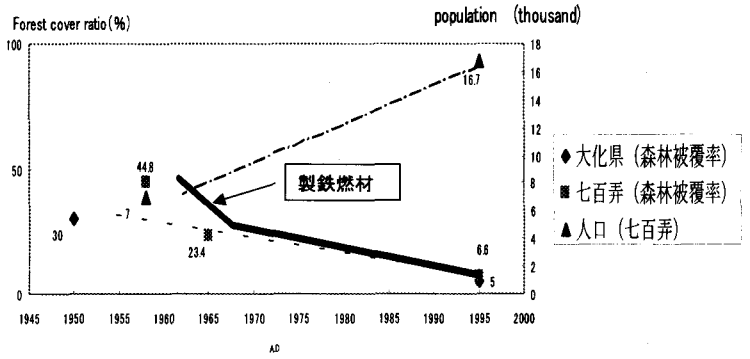
結　果

1）七百弄郷における人口と森林被覆率の時間的推移

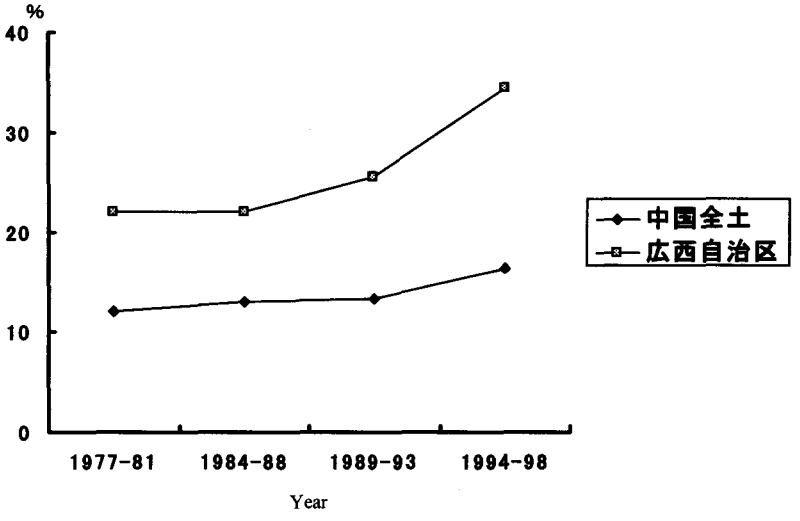
Fig.2によると，七百弄郷の人口は，過去40年の間に2倍以上に増加している。またそれに対応するように，森林被覆率は44.8%から6.6%へと1/7以下に急減していることが分かる。特に1960年代の大躍進時代に製鉄燃料材として大量の森林が伐採されたとされている（中国広西大化揺族自治県人民政府，1996）。

対象地域を拡大し，広西壮族自治区全体あるいは中国全体でみた場合，Fig.3に表されているように，1970年代後半からは森林率がゆるやかに上昇していることが分かる（石井ら，2002）。その主な要因は造林と，封山育林と呼ばれる手法によって山に人や家畜が立ち入ることを禁じたためである。その継続的な努力のかいあって，中国全体では森林率は16.4%まで回復しており，広西壮族自治区にいたっては34.4%もの森林率を誇っている。これらと比較すると，七百弄郷の6.6%という値は驚くべき低さと言える。

鄭ら（2000）の調査によると，「弄石屯ドリーネでは1958年の森林伐採により大量の土壌浸食が起き，トウモロコシ，甘薯等を栽培していた耕地が1960年には耕作不能になったとされている。また50年前の弄石屯ドリーネの底部には大きな鍾乳洞があり，人が20m以上も入ることができたが，1970年代には土砂に埋もれてしまったとの報告がある。また生物多様性については，七百弄郷一体には1950年代まではトラ，イノシ



図－2　七百弄における森林被覆率推移
Figure 2. Forests cover trends at Qibailong
（中国広西大化揺族自治県人民政府，1996）



図－3　広西自治区および中国における森林被覆率推移
Figure 3. Forests cover trends at Guanxi and whole China
（石井ら，2002）

シ，サル，オオカミ，野鶏などが生息し，豊かな多様性を誇っていたが，その後の乱獲によりトラ，オオカミは全滅し，イノシシもほとんどみられなくなった。サルは1124個を数える七百弄郷のドリーネのうち，たった二つのドリーネでしか見られなくなった」と報告されている。

これらの報告から，かつては豊かな森林地帯であった七百弄郷が，ここ50年ほどの急激な人間増加により森林が減少し，それにともなって生物多様性も減少したことが分かる。そしてその傾向は現在も継続している。

2)　弄石屯ドリーネの地形的特質

1124個あるとされる七百弄郷内のドリーネの中から弄石屯ドリーネをその代表値に選出し，地形的特質を詳細に検討した。弄石屯ドリーネはおよそ八つの急峻な山に囲まれたドリーネであり，近年そのすり鉢型の内壁を細長く一周する形でドリーネの底まで道路が通うこととなった。

弄石屯ドリーネの地形特性を把握するために，20m×20mをメッシュ単位として傾斜区分図を作成した（Fig.4）。またドリーネ内の代表的な斜面横断形状を図示したところ（Fig.5），全体として斜度40°以上

図―4　弄石屯ドリーネの傾斜区分図
Figure 4. Angles of slopes at longshitun doline

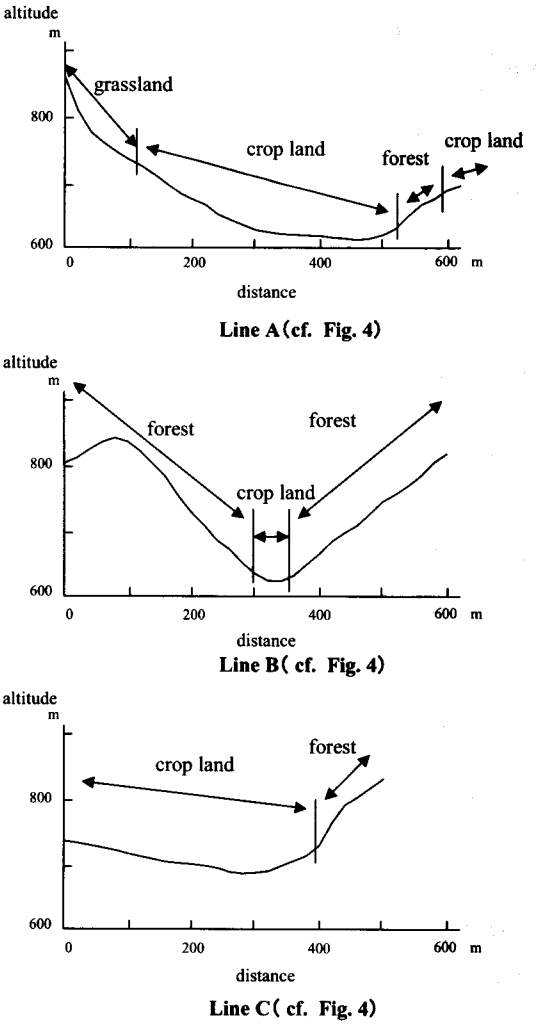
Three Lines show locations of topographical profiles, see Fig. 5.

の急斜面がドリーネを取り囲むように広く分布しており，平地の割合は極端に乏しいことが分かった。斜度10°以下の平坦地は，ドリーネ底部と南側谷筋の一部にのみ観察され，全面積の10％に満たない。これに斜度20°以下の緩斜面をあわせても全体の26％にしか達しない。尾根はすべて斜度40°以上の石山急斜面であり，それはドリーネ面積全体のおよそ1/2に達し，ドリーネ底部の道路脇にまで広く分布していた。この石山急傾斜域はほぼ樹林地となっており，その上部では最大傾斜角70°近くの斜面も観察された。

3）弄石屯ドリーネの土壌の分布

弄石屯ドリーネ内の土壌の分布を現地踏査により調べたところ，斜面はほぼ完全に露出した石灰岩およびドロマイトで構成されており，土壌は岩礫の隙間を充填する形でわずかに観察されただけであった。

ドリーネの表層地質は，現地観察の結果，４つのタイプに分類された（Fig.6）。一つ目は剥き出しの石灰岩およびドロマイトが露出する岩山区。二つ目は崖錐が散らばっている崩積岩礫区。三つ目は土壌と石が混じり合った土壌・岩礫区。四つ目は土壌区である。



図－5　弄石屯ドリーネ地形横断面概観
Figure 5. Schematic topographic profiles of longshitun doline

広大な面積を占める岩山区は剥き出しの石灰岩が占めており，全面積の65％にもなった。表層地質区分図（Fig.6）と前述の傾斜区分図（Fig.4）はよく対応しており，土壌区はドリーネ底部と谷地形の平坦地だけに限られており，それらは全体面積の32％を占めている。しかし谷地形上の土壌は露岩の間隙を埋めているに過ぎないので，土壌区と実質的に呼べるのは，ドリーネ底部のわずか9％程度だけであった。

ドリーネ斜面の土壌深を把握するために傾斜ごとに代表的な地点を選び，ライン状に土壌深を測定したところ，極めて薄い土壌の実態が明らかとなった（Fig.7,8）。最も急傾斜の岩山区では土壌はほとんど観察されず，そこに生息している樹木は，露岩の節理に根を滑り込ませて岩を抱きかかえるような形で定着していた。

土壌・岩礫区はすべて階段畑として利用されていたが，それには二つのタイプがあり，そのタイプごとに土壌の厚さも異なっていた。一つは礫を等高線に沿いに積み上げて作られた石積土留型斜面であり，もう一つは露岩の間隙に溜まっている土壌をそのまま利用した天然土留型斜面である（Fig.8）。人工的に石を積み上げられた前者では，人の手によって細礫がきれいに除去されているため，ほとんど斜面全体が利用可能な土壌で覆われているように見えた。土壌深は25cm～65cm以上と多少ばらつきはあったが，平均土壌深は60cm以上と思われ(測定の際，上限を65cmに設定した)，比較的厚く堆積していることが分かった（Fig.7）。一方，天然土留型の斜面では黒色の露岩が多数突出しており，その露岩間に堆積したわずかな土壌が畑地として利用されていた。土壌深は40cmを越えるものはなく，平均20cmと薄かった。また露岩にくらべて土壌の分布面積が少量であるため，斜面景観としては黒い岩肌が連続しているように見えた。

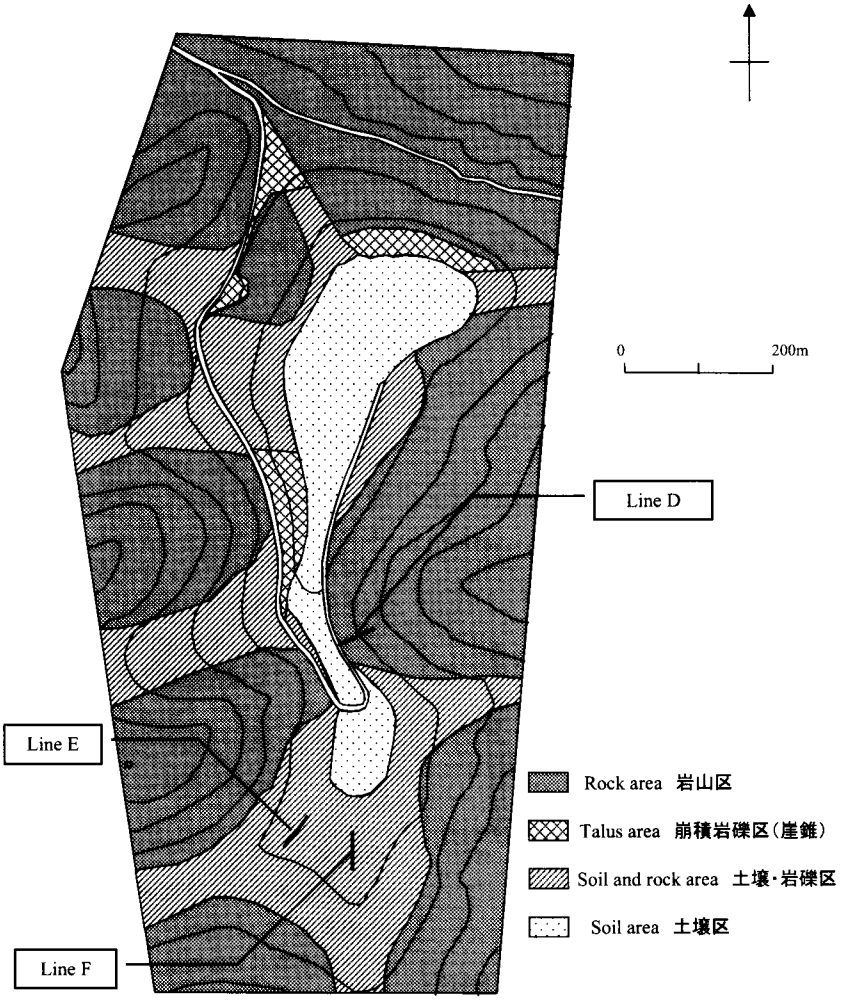
ドリーネ底部は斜面から流されてきた土壌が堆積する場所であり，1m以上の土壌が広く分布しているものとみられた。

以上のように，ドリーネ内の土壌資源の乏しさが明確となった。分厚い森林褐色土で覆われている日本の山地と異なり，弄石屯ドリーネでは土壌が存在するのは底の平坦地と谷筋のみであり，その谷筋の土壌も極端に薄いことが明らかとなった。

4）土壌の浸食・移動状況

気象データによると，1999年7月と同年8月に豪雨があったとされ，特に1999年8月には最大日降水量126mm・時間雨量47.5mmの記録がある（高橋ら，2000b）。しかしながら，その直後の現地調査からは，表土の移動や堆積の痕跡は観察されなかった。

崖錐堆積物は弄石屯ドリーネ北側斜面の下部と中央道路下にのみわずかに観察された（Fig. 6）。角礫の堆積位置と状況から判断して，中央道路下の崖錐は明らかに近年の道路工事による捨土と考えられる。また北側斜面堆積物の形成要因や時期についても，道路工事（1965年）に由来するものと思われ，径15～20cm程度の石灰岩角礫から構成されていた。



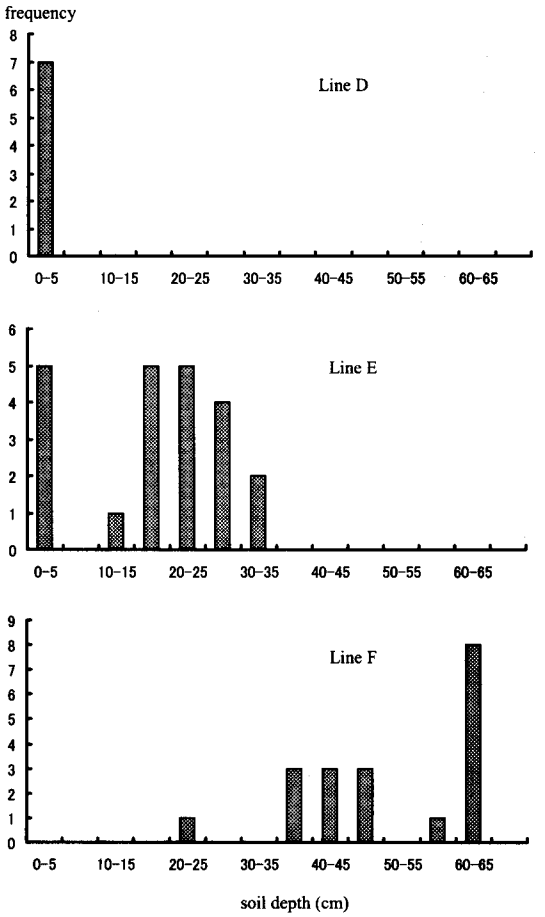
図－6　弄石屯ドリーネの表層地質区分
Figure 6. A distribution of surface layers at Longshitun doline
Three lines (D, E and F) show locations of soil profiles, see Fig. 8.

現在この北側斜面の崖錐の一部に5カ所にわたって地表植生の消失部（幅約5m・長さ15m）が認められる。地元住民からの聞き取りでは，この表土移動は過去の豪雨時に発生したとされている。ただし1998年と1999年の豪雨による移動は観察されなかった。またこの地点では，地元住民が崖錐角礫を用いて土留めを作成し，そこに降雨時土砂をトラップすることで畑地を造成しようと試みていたが，2002年9月時点でも，崖錐礫や土壌の流入はほとんど観察されなかった。

以上のことから，崖錐堆積地点においても，豪雨時の湧水に由来する地表流の発生はあるものの，土砂移動や土壌の流出はほとんど発生していないと考えられた。

5）弄石屯ドリーネの伝統的土地利用様式

一前ら（1999）が作成した土地利用図（Fig.9）によると，居住地はドリーネ底の道路に沿って2カ所に分かれていた。土地利用のほとんどは農地としての利用であり，それが岩山区を除いた面積のほとんどを占めている。また図中には示されていないが，ドリー



図－7　弄石屯ドリーネの土壌深分布
Figure 7. A distribution of soil depth at Longshitun doline, see Fig. 6 and 8

(Line D is on steep slope forest, Line E is on natural terrace crop land, and Line F is on artificial terrace crop land)

ネ内にはいくつかの溜め池が設置されていた。

弄石屯ドリーネにおける土地利用はその地形的特徴により大きく制限されていることが観察された。土地利用図（Fig.9）と前述の傾斜区分図（Fig.4）および表層地質区分図（Fig.6）を照らし合わせてみると，傾斜と土壌の分布と土地利用の3者が明確に一致していることが分かる。すなわち居住地と畑地はドリーネ底の傾斜10°以下の平坦地に集中し，高度利用がなされている（Table.1）。斜面下部に出現する湧水を生活用水の中心として使っており，居住地の溜め池まで導水され，蓄えられていた。傾斜10°～35°の斜面はほとんどがトウモロコシ畑として利用されており，その際も浸食を最低限に抑えるよう緩傾斜地（10°～25°）には石積土留を設け階段化し，さらに急傾斜地（20°～35°）では露岩の隙間に溜まったわずかな土壌をそのまま利用するという工夫がなされていた。傾斜30°～45°の岩礫急傾斜地は草地として利用され，さらに傾斜40°以上の最急傾斜地が森林として利用されていることが分かる。森林地帯に至っては土壌はほとんど皆無であった。

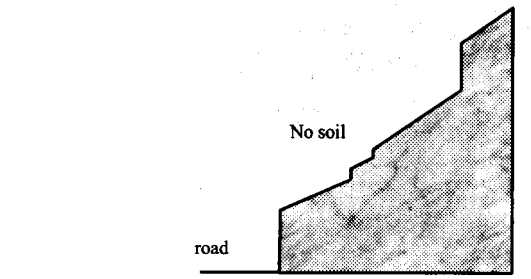
このように現地では，土地条件に応じた巧みな土地利用が観察された。それは言い換えると，人々の生活は「急傾斜」という地形要因によって大きく制限されているということになる。急傾斜は同時に土壌の分布を谷筋だけに制限し，また石灰岩という地質が慢性的な水不足をもたらしており，それらが人々の生活を大きく制限している。そんな過酷な条件の中で，人々は可能な限り耕地を拡大しており，土壌があるところはほとんどすべて耕地化していた。日本では斜度10度そこそこでも傾斜地農業と呼ばれるが，ここでは40度近くの崖とも思える斜面まで耕地化されていた。それは非効率的でたいへん手間のかかる作業であり，それだけ人々の生活に余裕がないことを意味している。

考　察

1）弄石屯ドリーネにおける生態系破壊および石漠化の実態

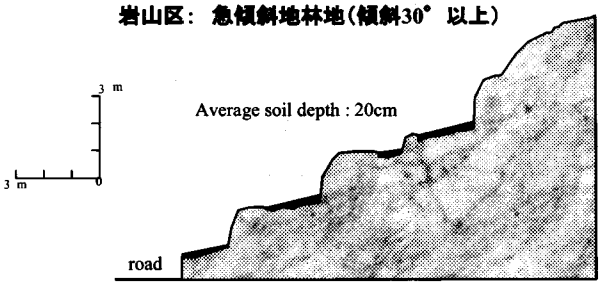
以上述べてきたように，調査対象地の人口の増加，森林減少の歴史，地形や土壌などの自然条件，およびそれに対応した人々の生活といったおおよその現状を把握することができた。

このような知見を元に，以下のような土地の履歴が推察される。つまり数百年前は，この辺り一帯は豊かな森林に覆われていたと思われる。鄭ら（2000）によると，400年ほど前から人々が弄石屯ドリーネに定住を始めたが，その数は少なく，今から70年前にあっても4～5戸の住民しか生活していなかった。そのため環境の改変は少なく，人々はおそらくドリーネ底部の豊富な土壌を耕地化することで生活できていたと思われる。しかしその後の急激な人口増加（1990年代には28戸，128人）により耕地を拡大せざるをえず，斜面をはい上がる形で開墾が進み，森林が減少していった。急峻な地形特質および鄭ら（2000）の「耕地が耕作不能になった」，「鍾乳洞が土砂に埋もれた」などの



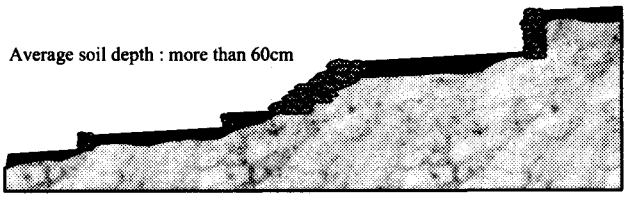
Line D　**Rock area : steep slope forest (angles of the slopes are more than 30 degrees)**

岩山区：急傾斜地林地（傾斜30°以上）



Line E　**Soil and rock area : natural terrace crop land (angles of the slopes are 20-30 degrees)**

土壌・岩礫区：天然土留型斜面（傾斜20°～35°）



Line F　**Soil and rock area : artificial terrace crop land (angles of the slopes are 5-25 degrees)**

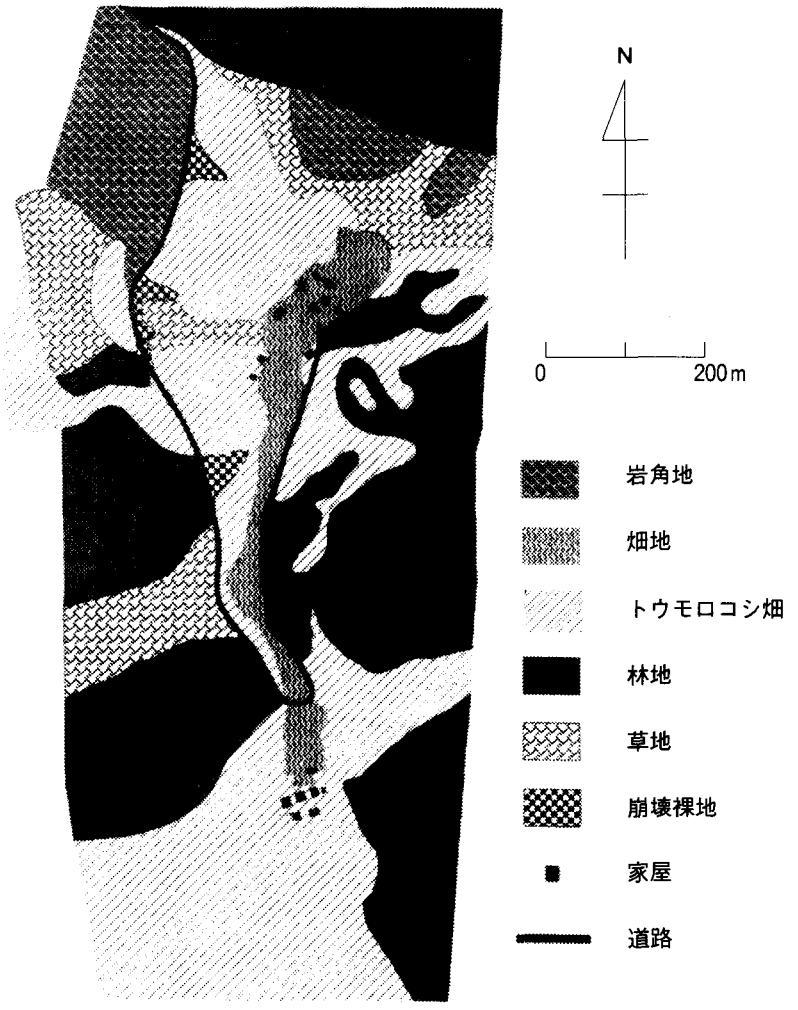
土壌・岩礫区：石積土留型斜面（傾斜5°～25°）

図－8　弄石屯ドリーネの表土
Figure 8. Typical soil profiles at Longshitun doline

報告から推察して，過去に森林の減少に伴って多少の土壌浸食が発生した可能性はある。そこで人々は石を積むことで浸食を抑えようとし，その結果現在では土壌浸食が観察されない状況になっている。

つまり現時点でもしこの土地の生態系破壊を評価しようとした場合，人類が入植する前の生態系と比較したら，当然それは破壊されていると言えるが，それでも現在はその破壊の程度が最小限になるように工夫されている。

このように七百弄地域は山の頂上付近まで耕地化するという強度な土地利用をしながらも，土壌浸食を最小限に抑える技術を発達させてきた。もし弄石屯ドリーネで石積土留や天然土留に見られるようなテラス技術を用いなかったならば，薄い土壌は瞬く間に流出し，おそらく10年と経たないうちに剥き出しの岩山に変貌してしまったものと思われる。しかしそのようなテラス技術をもってしても，もはや弄石屯ドリーネの環境扶養力は限界に達しつつある。すでに土壌があるところすべてが耕地化されている現在，もうこれ以上耕地を拡大することは物理的に不可能であり，耕地面積を変えずに収量を増やそうと化学肥料を大量に投与すれば，今度は地下水と下流河川水の汚染が予想され



図―9　七百弄・弄石屯の相観植生図（一前ほか，1999）
Figure 9. The vegetation map at longshitun doline

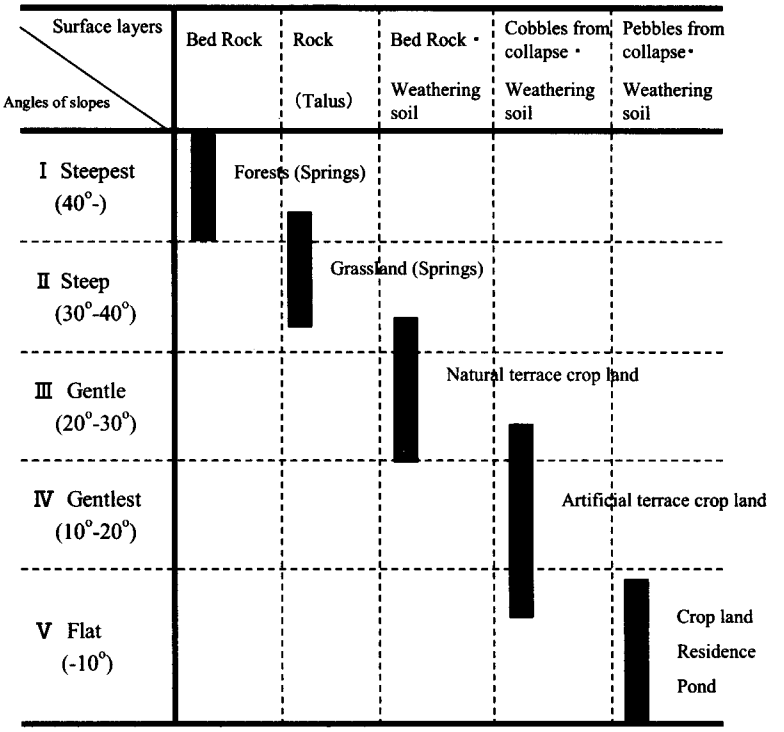
る。実際，王ら（2000）の観測によると，七百弄ドリーネの一つの湧水は窒素濃度が異常に高く，それは周辺農地からの栄養塩溶脱によるものと報告している。このようにたかだか百人足らずの人口ではあるが，もはやこの土地で自給自足的な生活を営むことは限界にきており，すでに若者たちのほとんどは出稼ぎで村を離れている。

このように一見すると緑豊かで環境破壊とは無縁に見える七百弄地域も，人口増加のために従来のような環境調和型の農法を営むことが不可能となってきており，その結果，地下水の硝酸汚染などのように目に見えにくい形でその土地のシステム（生態系）が徐々に破壊されてきている。それがこの地域の現状であり，それが石漠化の実態と考えられる。

2）七百弄ドリーネでの森林造成の効果

七百弄ドリーネに森林を造成した場合の効果について，水源涵養および浸食防止の視点から検討する。日本では「森が川を守る」といった言葉で語られるように，森林の水源涵養機能については広く認識されているが，実際の水源涵養機能については経験的で漠然とした把握でしかなく，定量的評価手法やモデルはいまだに構築されていない状況にある（太田，1998；福嶌，1993）。森林も生育のために当然水分を必要とし，

表－1　弄石屯の斜面傾斜と土地利用
Table 1 The correspondence of angles of slopes to the land use



降雨水の遮断蒸発量を高めることから，年間流出量は森林が少ないほど多くなるとの報告もある（Bosch and Hewlett, 1982）。また地質条件によって河川の流出量が著しく異なることが確かめられており，ある地質条件下では森林の有無が渓流流出に与える影響は少ないとの報告もある（佐藤ら，1992）。このような状況から，不確かな森林機能に頼るよりも，当面は人工的工作物に期待すべきとの議論もなされているのが現状である（端野，1998）。

弄石屯ドリーネにおける水分動態に関しては，新谷・笹ら（2001）が調査している。ドリーネ地形では渓流地形や集水域が不明瞭であることから，量水堰を設置するなどの一般的方法による水分動態の観測は不可能であり，そのため既設の溜め池の水位データを観測することにより水分動態の一端を探ろうとしている。それによると，この地域では地表流は20mm/day以上の降雨で発生し，それは降雨終了と同時に速やかに消滅してしまうことが観察されている。これは降水のほとんどは速やかに地中や岩礫の間に浸透・流下しているということである。急傾斜での土壌の薄いドリーネ地形においては，森林の水源涵養機能はあまり発揮されず，むしろ節理孔パイプだらけの石灰岩が水分動態のほとんどを決定していると考えられた。

土壌浸食については，森林ができて地表が緑でおおわれた場合，当然その効果は大いに発揮されると予想されるものの，ただここでは森林を復元するまでもなく，住民は傾斜地の階段化と緑化（農地化）によって適切な浸食対策を施している。そのため前述したように，現在では表土が移動しているという兆候は観察されない。カルスト地域は急斜面という浸食に対して不利な地形を特徴としているが，石灰岩という地盤自体は極めて安定性が高いといえる。切り立った斜面を耕地化し，まがりなりにも数百年の間，人々がここで生活してこられたのは，降雨期にあっても崩れる心配のない地盤のおかげである。

このように本研究対象地のようなカルスト地域にあっては，森林を新たに造成してみても，それによって水源涵養機能や浸食防止機能が高まる可能性は極めて少ない。それは石灰岩という特殊な地質条件と比べたとき，森林は表面を被覆しているに過ぎず，その影

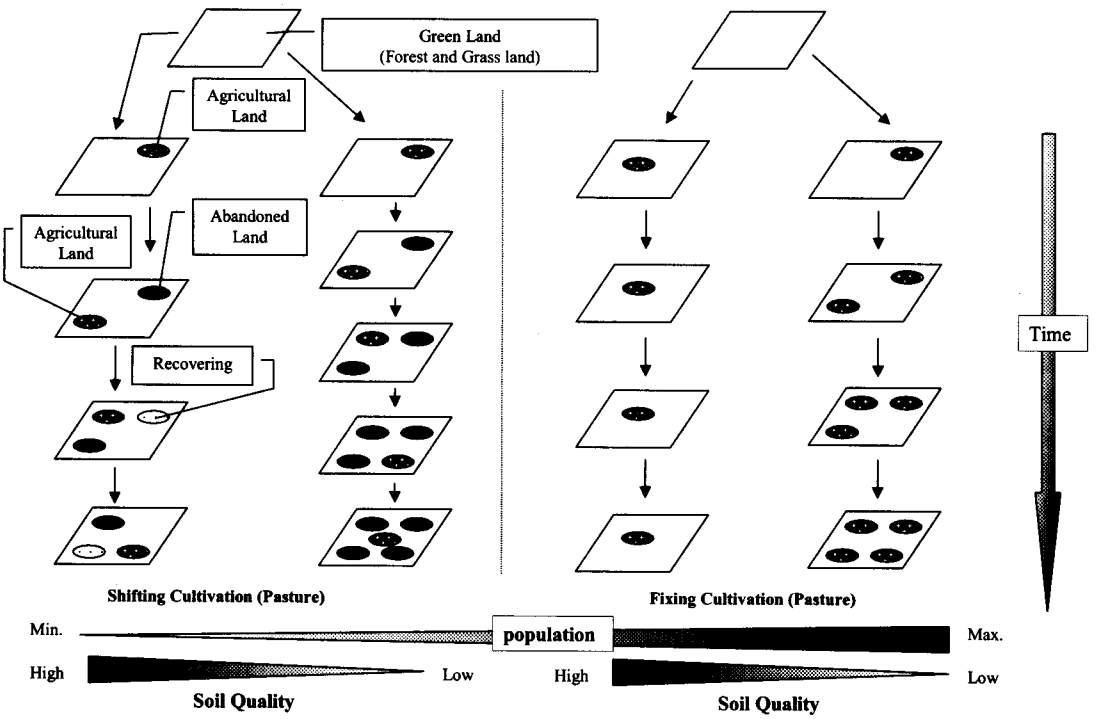
響力はあまりにもわずかだと考えられるからである。

このような現状を考えると，現在の農地を放棄して，そこを新たな林地に転換するということは実際的でないと結論せざるを得ない。つまり石漠化問題とは，森林を作ればそれで済むような話ではないのである。日本のように生活に余裕がある国々ならば，環境保護のために農地を放棄して，そこに森林を再生することも可能かもしれない。しかし実際に石漠化が進行している七百弄地域では，大切な農地を手放す余裕はなく，そのような場所では，元の状態に戻す（林地化する）という行為が，決して解決策とはなり得ないと判断される。

まとめ

世界の砂漠化をめぐる歴史については前述したが，砂漠化の実態については未だに多くの誤解と認識不足があり，砂漠化解決のための明確な指針はまったく存在していないのが現状と言える。現在，砂漠化の定義としては「乾燥・半乾燥地において，気候変動・人間活動などの様々な要因によって引き起こされる土地（土壌）の劣化」という92年の国連環境開発会議（UNCED）での決定が採用されている。しかし本研究で検討したように，中国の石漠化現象も紛れもなく砂漠化の一つである。砂漠化とは国連が定義したように乾燥・半乾燥地に限定された問題として捉えるだけでは不十分であり，地球全体が直面している緊急の課題と考える必要がある。中国の石漠化を直ちに世界の砂漠化の代表値として捉えることはできないが，問題の根本的原因，すなわち人口爆発による環境との不調和についてだけみるならば，それは世界の砂漠化に共通した問題と捉えることが可能と思われる。そのような視点から世界の砂漠化現象を考えた場合，砂漠化という曖昧な現象は，結局以下のように理解される（Fig. 10）。

現在，砂漠化が進行している多くの地域は，かつて移動耕作（焼畑）を伝統的に実践してきた場所がほとんどである。実際，弄石屯ドリーネの主要民族である瑤（ヤオ）族は，元来頻繁に移動する焼畑民族として有名であった（尹，2000）。移動耕作とは，自然緑地（森林）の力を借りながら，最小限のインプット（肥



図—10　砂漠化の概念図
Figure 10. A conceptual image of the process of desertification.

料や労働力）で最大限のアウトプット（収穫）を得ようとしたシステムであり，適切な休閑期を設けるならば，それは半永久的にサイクルを維持することができる合理的な農法である（Fig.10の最左列）。しかし移動耕作は広大な土地を必要とする農法であり，近年の人口爆発に伴って，そのシステムはうまく機能しなくなってきた。利用空間が一定ならば，人口増加に伴って休閑期を短くせざるを得ず，そうなると土壌の回復が不十分なうちに繰り返し耕作することになる。結果として土壌が劣化し，不毛の荒れ地が増加していくことになる（Fig.10の左２列目）。世界では，実際に耕作されている土地がわずか1.5×10^6ha であるのに対して（Buringh，1989; World Resource Institute, 1992），毎年12×10^6ha もの土地が破壊されるか放棄されている（Lal and Stewart, 1990）。それは非持続的な農法により土地が痩せたり，浸食されたりするためである。これが砂漠化である。

さらに人口圧が増え，生存空間が限定されると，もはや移動耕作は不可能になり定着して集約的な農法を採用せざるを得なくなる（Fig.5-1の右２列目）。それはアジアの水田農法に典型的に見られる農法であり，これも移動耕作同様，適切な管理をするならば，環境を壊すことなくほぼ永続的に食料生産を維持することができる。

しかしさらなる人口増加と耕地拡大に対応しようとすると，弄石屯ドリーネのように斜度40°近くの崖まで耕地として開墾せざるを得なくなる。そして人口圧の増加に伴って，その土地の環境扶養力は限界に達し，土壌は徐々に劣化し，地下水汚染などのような環境破壊が表面化してくる。これも砂漠化である。

このように砂漠化とは，砂丘が拡大していくといった自然現象でもなければ，乾燥地や半乾燥地に限定された地域的な問題でもない。砂漠化とは，人間の不適切な土地利用により土壌が劣化してしまう現象と認識することができる。そして不適切な土地利用は住民の無知のために起こっているのではなく，人口爆発に伴って必然的に過度な土地利用をせざるを得なくなった歴史の結果である。すなわち高まる人口圧の前では，適切な土地利用を継続することは極めて困難な行為といえる。

砂漠化が地域的な問題であるならば，かつての欧州大陸のように利用可能な資源を求めて他の土地に移動し，新たな農地を開拓すれば済む。弄石屯ドリーネの場合のように，自給自足的生活が不可能になってきたのなら，街へ出て現金収入を稼げばよい。しかし世界全体で考えた場合，他に移住する場所はなく，地球の中で自給自足をするしか選択肢はない。地球の資源は有限であり，環境も有限である。人口が60億にまで膨れあがった現在，地球の環境扶養力は限界に達しつつあり，地球そのものが砂漠化の状況下にある。砂漠化とは決して乾燥地の限定的な問題ではなく，地球全体が今まさに直面している緊急課題と認識する必要があると思われる。

謝　辞

本研究の現地調査・遂行・とりまとめのすべてにあたって，北海道大学大学院農学研究科新谷融教授ならびに同大学院笹賀一郎教授から多大な御指導をいただきました。ここに深く謝意を表します。

引用文献

Batterbury, S., and A. Warren. (2001) : Desertification. In Smelser, NJ and PB Baltes eds. *International Encyclopaedia of the Social & Behavioral Sciences.* Elsevier

Bosch, J. M and Hewlett, J, D. (1982) : A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evaportranspiration. *J. Hydrol.* 55, 3-23

Buringh, P. (1989) : in *Food and Natural Resources,* D. Pimentel and C. W. Hall, Eds. Pp.69-83, Academic Press, Sandeiego

Darby, H. C (1956) : The clearing of the woodland in Europe. In *Man's role in changing the face of the earth,* ed. W. L. Thomas, Jr., Pp183-216. Chicago: University of Chicago Press

Daily, G. C. (1995) : Restoring Value to the World's Degraded Lands. *Science.* 269, 350-354

Dunlap, Riley E (1995) : Environmental Concerns and the Third World. *Science.* 268, 1114-1115

FAO (2001) : *State of the world's forests*

Galloway, J. N. et al. (1995) : Nitrogen fixation: Anthropogenic enhancement-environmental response. *Global Biogeochemical Cycles,* 9(2), 235-252

Hellden, U. (1991) : Desertification: time for an assessment. *Ambio,* 20, 372-383

Houghton, J. T. et al. (1995) : Eds. *Climate change*

1994: radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios. Cambridge University Press, Cambridge

Kerr, Richard A (1998) : The Sahara is not marching southward. *Science.* 281, 633-634

Lal, R and B. A. Stewart (1990) : *Soil Degradation.* Springer-Verlag, New York

Meiggs, R. (1982) : *Trees and Timber in the Ancient Mediterranean World.* Cambridge: Cambridge University Press

Sauer, C. O (1956) : The agency of man on the earth. In *Man's role in changing the face of the earth*, ed. W. L. Thomas, Jr., Pp46-69. Chicago: University of Chicago Press

Sears, P. B. (1935) : *Deserts on the March.* Routledge and Kegan Paul, London

Stebbing, E. P. (1935) : The encroaching Sahara: the threat to the West African colonies. *The Geographical Journal.* 85, 506-524

Turner, B. L. et al., (1990) : Eds., *The Earth As Transformed by Human Action* (Cambridge Univ. Press, Chambridge,)

Vitousek, P. M., Harold A. Mooney, Jane Lubchenco, Jerry M. Melillo (1997a) : Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science.* 277, 494-499

Vitousek, P. M., John D. Aber, Robert W. Howarth, Gene E. Likens, Pamela A. Matson, David W. Schindler, William H. Schilesinger, and David G. Tilman (1997b) : Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Souece and Consequences. *Ecological Applications.* 7(3), 737-750

World Resources Institute (1992) : *World Resources 1992-1993.* Oxford Univ. Press, New York

漆原和子 (1996) ：カルスト．その環境と人々の関わり合い．pp87．大明堂

石井寛・山本美穂・中村義久・兼重努・平野悠一郎 (2002) ：中国の森林資源の現状，森林政策の展開と大化県七百弄郷の森林政策組織．日中共同研究『中国南西部における生態系の再構築と持続的生物生産性の総合的開発』報告書平成13年度(第5報)，47-73．日本学術振興会未来開拓学研究推進事業(複合領域)「アジア地域の環境保全」

尹紹亭 (2000) ：雲南の焼畑．人類生態学的研究．pp107．農林統計協会

一前宣正・西尾孝佳・大久保達弘・八木久義・丹下健 (1999) ：植生評価にもとづく植生復元方向の検討，日中共同研究『中国南西部における生態系の再構築と持続的生物生産性の総合的研究』報告書平成10年度（第2報），33-36．日本学術振興会未来開拓学研究推進事業（複合領域）「アジア地域の環境保全」

太田武彦 (1998) ：森林と水，河川．619，14-23

佐藤冬樹・笹賀一郎・藤原滉一郎・守田英明・山之内誠 (1992) ：小河川の流出および水質に対する森林の影響－北海道北部蛇紋岩地帯の例－，日本林学会北海道支部論文集．40，196-198

高橋英紀・山田雅仁・曽平統・呂維莉 (2000a) ：弄石屯における気温変化の特徴－特に低温現象に関連して－，日中共同研究『中国南西部における生態系の再構築と持続的生物生産性の総合的開発』報告書平成11年度（第3報），111-116．日本学術振興会未来開拓学研究推進事業（複合領域）「アジア地域の環境保全」

高橋英紀・山田雅仁・呂維莉 (2000b) ：弄石屯における降水と蒸発散能の季節変動，日中共同研究『中国南西部における生態系の再構築と持続的生物生産性の総合的開発』報告書平成11年度（第3報），141-146，日本学術振興会未来開拓学研究推進事業（複合領域）「アジア地域の環境保全」

端野道夫 (1998) ：森林と水，河川．619，24-29

鄭泰根・譚宏偉・出村克彦 (2000) ：大化県七百弄郷生態系の歴史的変遷，日中共同研究『中国南西部における生態系の再構築と持続的生物生産性の総合的開発』報告書平成11年度（第3報），15-25．日本学術振興会未来開拓学研究推進事業（複合領域）「アジア地域の環境保全」

中国広西大化揺族自治県人民政府 (1996) ：広西壮族自治区大化県揺族自治区における貧困問題の解決と石灰岩山区の概況

波多野隆介・信濃卓郎・鄭泰根・大久保正彦・蒙炎成・譚宏偉 (2000) ：七百弄農家系における窒素循環，日中共同研究『中国南西部における生態系の再構築と持続的生物生産性の総合的開発』報告書平成11年度（第3報），69-78．日本学術振興会未来開拓学研究推進事業(複合領域)「アジア地域の環境保全」

福嶌義宏 (1993) ：森林と水に関する研究の動向，森林科学．9，7-13

八木久義・丹下健 (2001) ：土壌特性の評価と土壌管理・改良方法の検討，日中共同研究『中国南西部に

おける生態系の再構築と持続的生物生産性の総合的開発』報告書平成12年度（第4報），164-171．日本学術振興会未来開拓学研究推進事業（複合領域）「アジア地域の環境保全」
王宝巨・大神裕史・蒙炎成・呂維莉・陳桂芬・橋治国（2000）：七百弄実験地の水環境，日中共同研究『中国南西部における生態系の再構築と持続的生物生産性の総合的開発』報告書平成11年度（第3報），79-91，日本学術振興会未来開拓学研究推進事業（複合領域）「アジア地域の環境保全」

Summary

The human population, that has now reached 60 billion, has altered the earth's environment dramatically. The rate, scale and the kind of alterations occurring now are fundamentally different from those at any other time in history. These problems are not something to be faced in the future, but are with us now. Desertification is now commonly recognized as a global problem, and many attempts at the reforestation of deserts have been made. As there is some doubt whether revegetation (reforestation) is the solution to desertification, I studied the Karst region in China, where Karst degradation has been a problem in recent years. I found that Karst degradation is not a natural phenomenon, but is the result of the increasing human population that overwhelms the carrying capacity of the environment. The consequences are erosion, soil degradation, and underground water pollution. Taking these facts into consideration, revegetation doesn't seem to be the most appropriate solution for desertification, especially in the Karst region of China.

Key words：Karst degradation, Karst, Population explosion, desertification, revegetation