

Title	静かにしのび寄る危機 土壌浸食 : 土壌浸食問題と土壌保全の方策
Author(s)	村上, 公久
Citation	聖学院大学論叢, 第 25 卷(第 2 号), 2013. 3 : 91-104
URL	http://serve.seigakuin-univ.ac.jp/reps/modules/xoonips/detail.php?item_id=4405
Rights	



聖学院学術情報発信システム : SERVE

SEigakuin Repository and academic archiVE

静かにしのび寄る危機 土壤浸食

——土壤浸食問題と土壤保全の方策——

村 上 公 久

抄 録

現在世界の各地で土壤浸食によって膨大な量の養分を豊かに含んだ表土が流亡し表層を失った土壤の肥沃度が劣化し、農作物の生産量を減少させ続け、深刻な飢餓をもたらす食糧の不足を加速させている。

土壤浸食そのものは自然の営みであって、地表で起こる風化生成物の移動であるが、世界各地特に熱帯・亜熱帯の森林または森林跡地で進行中の土壤浸食は、自然の土壤形成速度をはるかに上回る速さで進行し大きな問題となっている。土壤浸食は表土の流亡を加速化し土地生産力を急速に低下させるとともに、土地の環境保全機能を著しく低下させる。しかし土壤浸食は地震、火山の噴火、台風やハリケーンの襲来といった不可避的「天災」ではない。土壤浸食は人間の手によって引き起こされ加速されている避けることの可能な「人災」なのである。

キーワード； 土壤浸食，森林破壊，ダム堆砂，食糧問題，水土保持

0. はじめに

いわゆる地球環境問題が議論される際に具体的に上げられる諸問題としては、地球温暖化問題、オゾン層の破壊、酸性雨、森林破壊・熱帯林の減少問題、沙漠化問題、水資源問題、開発途上国における環境汚染（公害）、野生生物種の減少、海洋汚染、有害廃棄物の越境移動などが主なものであって、環境問題が扱われ議論される際に「土壤浸食」* が注目され取り上げられることは少ない。しかし、土壤浸食がもたらすものは「静かに忍び寄る危機」⁽¹⁾ である。

注

* 「侵食」について土壤浸食 soil erosion は、水による土壤浸食のほかに風による「風食」wind erosion また「雪食」snow erosion などがあるが、本試論では特に「水による土壤浸食」water erosion について「浸食」と表記する。

筆者は国家公務に就いていた時期に所属の省よりの派遣で JICA Japan International Cooperation Agency 国際協力機構による環境保全 ODA 技術協力事業に関わる海外派遣専門家として 1980 年代にフィリピン共和国ルソン島中部山地で熱帯の途上国に適した水土保全技術の開発とその技術移転の流域管理プロジェクト Japan-RP Watershed Management Project at Pantabangan, Nueva Ecija に従事したが、このわが国の国際協力プロジェクトの遂行に当たって相手国政府の担当部局から当該地域に関する形式的な提言に止まらないフィリピン共和国の全国土についての水土保全に関する具体的な提言を求められた。その際筆者は同国の環境天然資源省 DENR The Department of Environment and Natural Resources の当時の長官ウマリ氏 Ricardo M. Umali に対して具体的な数値を示し、フィリピン共和国が全国土で土壌侵食によって失っている土壌の肥沃度は、化学肥料に換算して年間に硫化アンモニウム 3 百万トン、過リン酸石灰 6 百万トン、硫酸カリウム 2 百万トンの膨大な量に相当すると指摘した⁸⁾。

現在世界の各地で土壌侵食によって膨大な量の養分を豊かに含んだ表土が流亡し表層を失った土壌の肥沃度が劣化し、農作物の生産量を減少させ続け、深刻な飢餓をもたらす食糧の不足を加速させている。表層土の形成速度は、土壌の深さ 1 cm について 200~300 年と推定されており、例えば 30 cm の表土が失われた場合は 6~9 千年にわたって形成された食糧生産にも必要な自然の豊かさを一挙に失うということになる。土壌を失うことは、土地の農業生産力を失い農耕地を放棄する事態に追い込まれることを意味する。特に熱帯域での土壌侵食は中緯度地方に比して更に深刻で、例えば西アフリカのガーナにおける土壌生成速度はインドネシアのおよそ 10 分の 1、日本の 5 分の 1 であり、土壌の保全は住民の生存がかかった喫緊の課題である。いわゆる世界 4 大文明の発祥の地は何れもかつては森林地帯であり、文明の勃興と進展に伴う人口支持のための食糧生産により森林破壊が進み豊かな表土が失われたために現在ではすべて砂漠と化している。

土壌侵食そのものは自然の営みであって、地表で起こる風化生成物の移動であるが、世界各地特に熱帯・亜熱帯の森林または森林跡地で進行中の土壌侵食は、自然の土壌形成速度をはるかに上回る速さで進行し大きな問題となっている。土壌侵食は表土の流亡を加速化し土地生産力を急速に低下させるとともに、土地の環境保全機能を著しく低下させる。しかし土壌侵食は地震、火山の噴火、台風やハリケーンの襲来といった不可避的「天災」ではない。土壌侵食は人間の手によって引き起こされ加速されている避けることの可能な「人災」なのである。

1. 世界の土壌侵食

今日、世界中の 9 億人以上の人々が慢性的な飢餓状態にあり、これは開発途上国の人口の約 16% に達する。開発途上国においては、既に農業開発が行き渡った平坦な地形の地域から締め出された食料の欠乏に苦しむ人々が、耕作の場を求め簡便な食料生産活動の展開可能な残された場を求めて

山地斜面へと向かっており、この傾向が森林の破壊をもたらした現在の森林消失の最大の原因となって土壤侵食を加速化している。開発途上国における森林破壊、特に熱帯域の途上国における森林の劣化と破壊の原因として「焼き畑農耕」が指摘されるが、長年にわたって営まれてきた伝統的な移動焼き畑農耕は水土保持の観点から保続（持続）可能な土地利用形態である。深刻な土壤侵食の原因となっているのは、水土保持と土地の肥沃度の維持に留意しない新興の焼き畑の拡大である。

各国の農業政策と人口政策は土壤の劣化を考慮に入れていないことが多い。世界の食料生産の予測は常に将来における耕作地面積の推定値を組み込むが、予測の対象となる耕作地面積の固有の生産性の変化を予測に含める努力が欠けがちである。この欠陥の主要な原因は、生産量の予測の際に農耕地からの表土の流亡の予測が抜け落ちていることである。世界の食糧供給の予測においては、この欠点を解決するために農地からの表土の損失すなわち土壤侵食の予測を含めなければならない。具体的には次の7つの点についての議論を含めなければならない。(1) 土壤侵食の原因(2) 様々な国・地域の土壤侵食量(3) 農業生産性への土壤侵食の影響（特に、表土の損失に関連して）(4) その他の土壤侵食が影響を及ぼす分野（表土の喪失による土地の生産性の低下は、灌漑、水力発電、水路の航行の支障をもたらす）(5) 土壤侵食の経済的評価(6) 政府の役割、および(7) 世界的な規模での土壤侵食の問題点、の諸問題が議論に含まれるべきである。

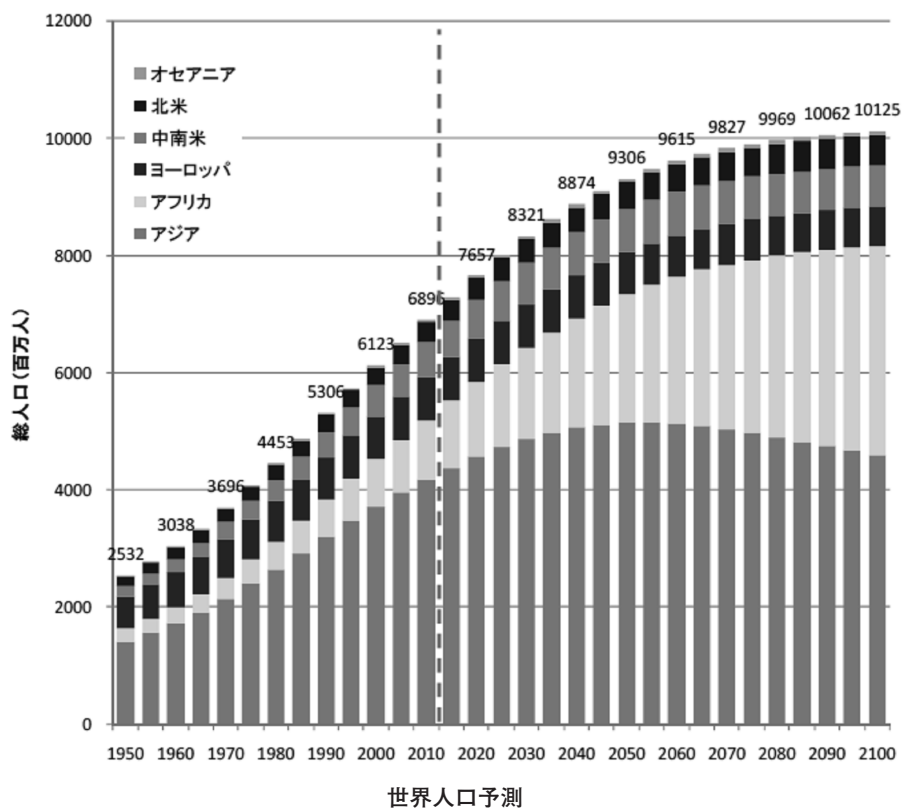
全世界の耕作可能地は陸地 149 億 ha の中 32～44 億 ha と推定されており、現在までにこのうち 15 億 ha が既に耕地化している⁽⁶⁾。ひっ迫する食料需要を満たすために今後毎年 2 千万 ha の耕地化が必要と予測され^{(2), (6)}、現在新しい農耕地は主として開発途上国の森林開発、林地の転用、場合によっては森林破壊によって拡大中である。農耕地の総面積はおおよそ上述の 15 億 ha を維持しているが、世界人口が着実に増加しているため、1 人当り耕作面積は減少することになる。穀物作付面積で見ると、1950 年に 5.9 億 ha であったものが 1981 年には 7.3 億 ha で極大となり、2001 年には 6.7 億 ha へと減少した。一人当たり穀物作付面積も、人口増加と穀物作付面積の減少とにより、急速に減少の傾向を示している。穀物の収量不足を補うには単位面積あたりの収量増加を図る必要があるが、実際には資金の不足や新しい技術の普及の遅滞などにより目立った増加は見込めない現状にある。

FAO 国連食糧農業機関により「原生林」と分類されている森林の面積は約 8 億 8,700 万 ha (FAO, 2010) であり⁽⁵⁾、農耕地拡大の可能性が森林に求められることは必定で、今後森林破壊による土壤侵食はますます深刻となり、最近頻繁に論じられている地球環境への大きなインパクトとなるとともに土地生産力の急激な低減による食料生産の減少によって世界経済へ大きな悪影響をもたらす恐れがある⁽¹⁾。

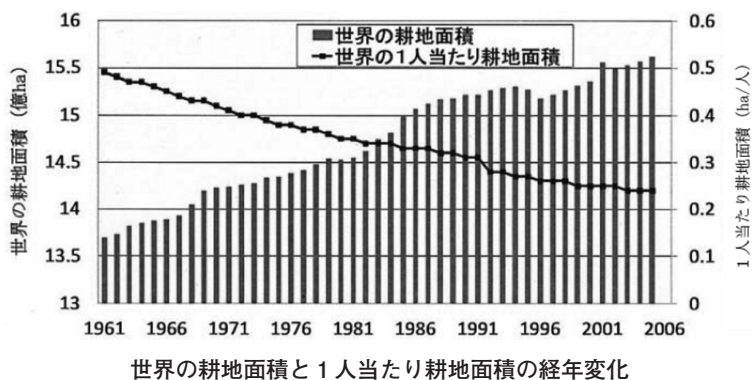
FAO と UNEP による当該分野の最近の諸データに Rio+20 において検討された地球環境を巡る問題の検討を加え、特に食糧生産のための農耕地と土壤侵食についてのデータを検討すると、以下のような実情が浮かび上がってくる。

2030 年までに世界の人口は 82 億人に達するため、15 億人分の食料増産をしなければならなくなる。また、その人口増加分の約 90%は開発途上国が占める。

2050 年までに 90 億人以上の食料をまかなうために、全世界で現在の食糧生産量の 60~70%に相当する分の食料増産を達成しなければならない。



出典：World Population Prospects: 2010 Revision United Nations Population Division.
 (注：将来推計については中位推計を使用)



(FAO-STAT による)

農耕地については、1960年～2010年で食料生産のための耕作面積は12%拡大した。同期間1960年～2010年で世界の農業生産性は150～200%向上した。1961年に14億haであった総耕作面積は、2006年に15億haとなった。1961年における1人あたりの食料生産に必要な耕地面積は平均0.45haだったが、2006年における1人あたりの食料生産に必要な耕地面積は平均0.22haだった。1人あたりの耕作適地は縮小している。1970年には0.38haであったが、2000年には0.23haに減少している。また、2050年までに0.15haにまで減少する可能性がある。地域別に観れば特にサハラ以南アフリカ、南米、南アジア、北欧では、半分以上の耕地に土壤劣化の影響が見られる。低所得国の1人あたりの平均耕地面積は、高所得国の半分以下である。1人あたりの平均耕地面積が0.37haの高所得国では、0.017haの低所得国の20倍以上の農耕地を有している。希望を見出すデータとしては、土壤の肥沃度を維持して農耕を継続する農地保全型農業の面積が、全世界で1974年から2010年までに、わずか300万haから1.17億haにまで拡大したことである。

2. 熱帯地域の土壤浸食

熱帯地域の森林を対象として水土保持を図り地力を維持しつつ農耕地に転用する適切な技術については、ほとんど未知であるといつてよい。一方この問題への正確な適正技術の確立に資する研究調査が未進捗であるままに、大規模な熱帯森林の転用が世界各地で急速に進んでいる。熱帯林において温帯林に比べ土壤浸食が激しい理由として、(1)地表植生が林床の光量の少なさ故に未発達であること、(2)腐植層が薄いこと、(3)熱帯地域では降雨強度が高く、降雨の運動エネルギーが大きいことなどが挙げられる(以下の2表)。

(表) 熱帯・亜熱帯における降雨の特徴

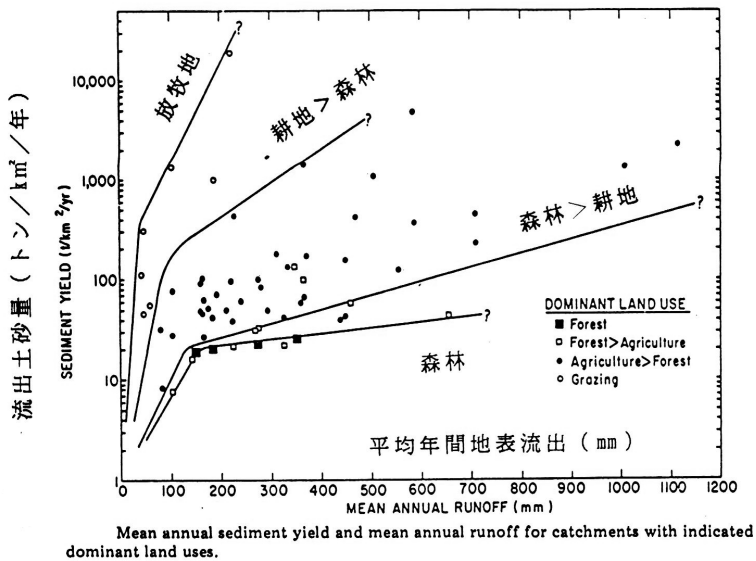
降雨強度 雨滴径 降雨速度 雨滴数 運動エネルギー
Kinetic energy of rainfall in relation to medium drop diameter and areal concentration of drops for rainfall of various intensities (after Lull, 1959)

Rainfall	Intensity (cm/hr)	Median diameter (mm)	Fall velocity (m/sec)	Number of drops (m ² /sec)	Kinetic energy/m ² (w/m ²)
Fog	0.013	0.01	0.003	67,000,000	1.6×10^{-10}
Mist	0.5	0.10	0.021	27,000	3.3×10^{-9}
Drizzle	0.025	0.96	4.1	150	6.1×10^{-4}
Light rain	0.10	1.24	4.8	280	3.3×10^{-3}
Moderate rain	0.38	1.60	5.7	495	1.7×10^{-2}
Heavy rain	1.5	2.05	6.7	495	9.4×10^{-2}
Excessive rain	4.1	2.40	7.3	820	8.9×10^{-1}
Cloudburst	10.0	2.85	7.9	1,214	9.2×10^{-1}
Cloudburst	10.0	4.00	8.9	440	1.1
Cloudburst	10.0	6.00	9.3	130	1.2

(表) 熱帯降雨の特徴

降雨継続時間と降水量
Some examples of high intensity rainfall from tropical regions
(after Jennings, 1950)

Duration	Rainfall (cm)	Location	Date
15 min	4.06	Ibadan, Nigeria	June 16, 1972
15 min	11.94	Monrovia, Liberia	Aug. 1, 1974
15 min	19.81	Plumb Point, Jamaica	May 12, 1916
90 min	25.4	Colombo, Sri Lanka	1907
24 hr	50.8	Kalani Valley, Sri Lanka	May, 1940
24 hr	116.81	Baguio, Philippines	July 14-15, 1911
48 hr	167.10	Funkiko, Formosa	July 19-24, 1913
63 hr	200.96	Baguio, Philippines	July 14-17, 1911
96 hr	258.68	Cherrapunji, India	June 12-15, 1876



(図) 土地利用形態別の年平均地表流出と流出土砂量 (侵食量) との関係 (T. Dunne 1979)

林地は他の土地利用状態よりも高い水土保持機能を持っている。森林が他の土地利用へと転換されると、侵食土砂量は急激に増加する⁽¹⁵⁾。森林の水土保持機能は林木の樹冠、枝葉、根系、腐植などの各々のトータルな機能として発揮されるが、特に樹冠のうっ閉率と侵食土砂量との、及び降水の地表流出との関係に注目すると⁽¹²⁾、森林の保全機能が顕著に認められる。土壌侵食を支配する要因は、降水に関するさまざまな要素、土壌の受食性 (侵食の受け易さ)、地形、など数多く挙げられる

が、決定的な要因は人為、即ち土地利用の状態である。T. Dunne はケニアの 61 の流域について、流出土砂量と土地利用との関係を調査研究した⁽⁴⁾。森林が卓越した流域での流出土砂量は、農耕地さらには放牧地に比してきわめて少なく、水土保持状態が良好であり、森林破壊が急激な水土保持機能の低下をもたらすことが判る。

3. ダム開発にともなう森林消失、ダム堆砂問題

ここで熱帯・亜熱帯地域の大規模国土開発にともなう森林の消失により加速化された土壌浸食がもたらす問題の典型的な例として、「森林開発とダム堆砂」の問題を検討する。

熱帯・亜熱帯地域の開発途上国においては、大規模な国土開発事業として大型の多目的ダム（洪水制御、農業カンガイ、水資源の安定的確保、発電）の建造が国威発揚の象徴として、また近代化及び工業化促進の担い手として各国で押し進められている。ところがダム計画当初見込んでいたダム貯水池（人造湖）の堆砂が予測をはるかに上回って進行し、ダムの寿命が著しく短くなっている事例が散見される⁽⁸⁾（表 ダム貯水池の堆砂量一事前予測と実測結果 K. Murakami）。ダム等の大規模国土開発事業は、移動焼き畑農耕等による森林破壊を誘導しやすい。ダム建設が始まると、工事用道路の開設にともない道路沿いに移動焼き畑農耕が展開し、過放牧が行われるようになる。ダムの完成後は通年の豊かな水を求めて急速に集落が形成され、ダム集水域の水土保持機能が低下する^{(8),(9)}。荒廃したダム集水域での土壌浸食は激しく、ダム貯水池への浸食土砂の堆積は計画時の 2 倍から 16 倍という数値になって表れている。ダム寿命の短縮は通例開発途上国が膨大な金額のローンにより建設したインフラストラクチャーの経済的価値を急激に減少させ、ローンの返済の続く期間中に、ダムは堆砂によりその機能を発揮できず寿命が尽きるという事態をもたらしている。ダム建設が常に森林破壊をもたらすのではなく、流域の森林保全が十分に考慮されていない場合、このような事態となってしまうのである。ダム建設に限らず、森林破壊の危険の大きい熱帯・亜熱帯地域の開発途上国においては、大規模土木工事、国土開発には実施に先立って森林保全、森林造成の計画が立案され、流域の森林破壊を未然に防ぐ施策が実行されなければならない。

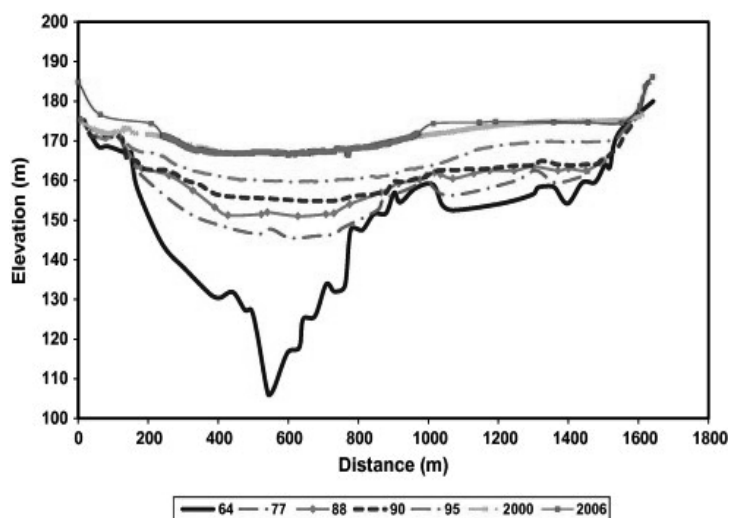
ダム堆砂は、河川において上流部からの流送土砂量を減少させ、橋梁においては橋脚基部の洗掘によって橋梁を不安定化させ、また海岸の浸食（海岸線の内陸への後退）を加速する。

(表) ダム貯水池の堆砂量—事前予測と実測結果 (K. Murakami 1987)

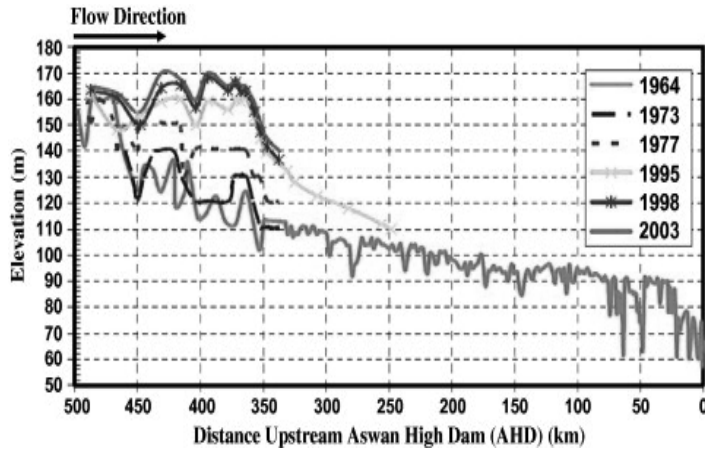
Designed and Observed Reservoir Sedimentation/Siltation Rate
Reservoir Annual rate of siltation/sedimentation (million cubic meters 百万m³)

	designed 予測	observed 実測	obs./designed 実測/予測	source 出典
Karangkates (East Java)	0.33	2.04	6.18	Brabben (1982)
Wlingi (East Java)	0.38	1.42	3.74	Fish (1983)
Bhakra (Punjab, India)	28.4	41.6	1.46	Patnaik (1975)
Panchet (DVC, Bihav, India)	2.5	11.8	4.72	Patnaik (1975)
Tungabhadra (Karnatika, India)	12.1	50.6	4.18	Patnaik (1975)
Nizam Sagar (Andra Pradesh, India)	0.66	10.8	16.36	Patnaik (1975)
Ukai (Gujarat, India)	9.2	26.8	2.91	Patnaik (1975)
Kamburu (Kenya)	0.3	2.3	7.67	Wooldridge (1984)
Magat (Philippines)	5.5	11.0	2.0	Wooldridge (1984)

実測例に見られるようにダム堆砂の当初の予測が大きく外れている。予測が最も実測に近かったものでも実際には予測値の1.46倍のダム堆砂がある。



アスワン ハイ ダムの堆砂
(ダムより 372 m 上流地点での横断面)



(河床縦断面)

4. 土壌浸食の予測

19世紀の末、Wollnyによって開始された土壌浸食に関する科学的研究は1915年アメリカ合衆国農務省山林局 Forest Service USDAによって浸食量を計測する初めての実験的研究を経て、1917年 M. F. Millerによってプロット試験による地表流出と浸食量との関係をさぐる研究へと展開した。1920年代、30年代を通じて、土壌浸食が土地生産力を大きく低減させるとの認識が一般に深まる中、特に雨滴の衝撃による土壌浸食について Lawsが自然降雨による研究を(1940)、Ellisonが雨滴の浸食メカニズムを(1947)詳細に研究した。

土壌浸食予測式について最初のもは、斜面勾配と斜面長の2変数を扱った Zingg (1940)の研究であり、その後 Musgraveは今日多くのアプリケーションを生んだ USLE, The Universal Soil Loss Equationの基礎となる予測式を提案した(1947)。

USLEの手法は Wischmeier と Smithにより、詳細で数多くの長期にわたるデータにもとづくハンドブックとして一応の完成をみており⁽¹⁴⁾、その後、USLEの改良式が次々に提案され今日に及んでいる。

USLEは20世紀の土壌浸食・水土保持研究の中で最も重要な進展の一つとして脚光を浴びている。この土壌侵食量予測式は、雨滴の衝撃や表面流出による土壌浸食を推定するために世界中で広く適用され用いられてきた実証を伴った土壌侵食量予測式である。USLEの開発は、大学の研究者をはじめアメリカ全土の連邦政府機関の研究者が行った土壌侵食実験と現地計測の数十年の集大成だった。

USLEは最初米国農務省農業ハンドブック Agriculture Handbook No. 282. USDAで1965年に公

開された。更新されたバージョンは、農業ハンドブック Agriculture Handbook No. 537. USDA で1978年に公開され広範に用いられた。その後、係数の推定値についての多くの改良を加えコンピュータによってUSLEを用いるためのバージョンとなった改訂版USLE (RUSLEと改称)は、1992年に一般の利用に供するために公開された。現在では、RUSLE-2として全世界で広く知られておりウィンドウズ・ソフト Windows のバージョンにより普及している。

USLEの林地への適用についての研究は、例えばOsborn⁽¹¹⁾によって試みられており、特に植被 vegetation cover を表わすC-Factorに関しては、Dissmeyer⁽³⁾の貢献が大きい。

5. 植生破壊による土壌劣化の3つの不可逆点

植生破壊による土壌浸食については、森林破壊すなわち森林を土地利用形態の変更、特に林地の耕地への転化によって森林植生が破壊されるときに大きな破壊を受け土壌浸食、土壌の劣化、表土の流亡が加速される。植生破壊とくに森林破壊によって森林の他の土地利用形態への転用が開始され、時間の経過とともに林地が森林状態の水土保全機能を失ってゆき、伐採、焼き畑利用、過放牧と、いわゆる森林破壊が進行してゆくプロセスの途上である限界点を越えて再び元の状態へと回復することのできない「不可逆点」point of no return を通過するのであるが、詳細に検討すれば、土地生産力の観点から3つの「不可逆点」を次々に通過してゆくことが判る。まず、生態系の余剰生産物の採取の段階からさらに土地利用の進んだ状態へと移行する際、第1の不可逆点「生態学的不可逆点」ecological point of no return (それ以上破壊が進むと原生態系の回復が不可能となるレベル)を通過する。さらに強度の土地利用が始まると、第2の不可逆点「持続的(保続的)生産限界の不可逆点」economic point of no return (持続的土地生産力の回復が不可能となるレベル)を通過し、さらに第3の「生物学的不可逆点」biological point of no return (それ以上の破壊が進むと動物・植物・微生物の生命維持が困難となるレベル)へと進み、遂には完全な森林破壊へと至る。

必要な研究対応としては、例えば土壌浸食の観点からは、特定の森林タイプにおける3つの不可逆点に呼応する土地生産力の境界 critical level となる土壌浸食量を把握することが肝要であり、このような基準に基づく土地利用計画あるいは森林保全計画が立案されなければならない。諸種の現地調査資料や研究成果を統合すると(例えばMorgan⁽⁷⁾)、第2の不可逆点「持続的(保続的)生産限界の不可逆点」を越えないための目安として、平坦地で浸食土砂量11ton/ha/year、また、熱帯の多雨で急傾斜の山地においては、25ton/ha/yearを目標値として設定して、土地利用の判断基準とすることができると考える。

6. 水土保持の適正技術

熱帯・亜熱帯地域の開発途上国においては、先進国ではよく見られる高いコストを要する水土保持のための工法は、多額の費用を必要とするために、先進国の技術モデルの提示として施工されることはあっても、実際の普及技術としては適正ではない。森林破壊が急速に進行する地域で、低コストで現地材料による水土保持技術の確立が望まれているところであるが、山地急傾斜地の農耕利用についての水土保持技術としては Sheng⁽¹³⁾、またフィリッピン共和国各地で大きな効果を発揮している SALT (Sloping Agricultural Land Technology, H. R. Watson の提唱による) 等が望ましい先例である。山地流域の水土保持技術としては、筆者が JICA Japan International Cooperation Agency 国際協力機構による環境保全 ODA 技術協力事業として 1980 年代にフィリッピン共和国ルソン島中部山地で実施した開発途上国における低コスト現地調達材料による治山工法 Murakami⁽⁹⁾ がある。この事例を含め水土保持技術とくに開発途上国における適正技術については、稿を改めて記す。

引用文献

- (1) Brown, L. and E. C. Wolf. 1984 *Soil Erosion: Quiet Crisis in the World Economy*. Worldwatch Paper 60: 1-31, 40-49, Worldwatch Institute
- (2) Barney, G. O. 1980 *The Global 2000 Report to the President of the U.S.*, Pergamon Press.
- (3) Dissmeyer, G. E. and G. R. Foster. 1981 Estimating the cover-management factor (C) in the Universal Soil Loss Equation for forest conditions. *J. of Soil and Water Conservation* 36(4): pp. 235-240
- (4) Dunne, T. 1979 *Sediment Yield and Land Use in Tropical Catchments*. *J. of Hydrology* 42: pp. 281-300
- (5) FAO Forestry Paper
- (6) Kovda, V. A. 1977 Soil Loss: An Overview, *Agro-ecosystem* 3(3): pp. 205-224
- (7) Morgan, R. P. C. 1980 *Soil Erosion*. J. Wiley 255
- (8) Murakami, K. 1987 *Reassessment Report of The RP-Japan Forestry Development Project; Toward RP-Japan Watershed Management Project*. JICA Japan International Cooperation Agency 国際協力事業団 (国際協力機構)
- (9) Murakami, K. 1989 *Low Cost and Indigenous Material Introduced Erosion Control Works for RP-Japan Watershed Management Project*. Forestry and Forest Products Research Institute, Japan 国立森林総合研究所
- (10) Norse, D. 1978 *Natural resources, development Strategies, and the world food Problem In* M. R. Biswas and A. K. Biswas (eds.), *Food, Climate and Man*. J. Wiley 12-51
- (11) Osborn, H. B., J. R. Simanton, and K. G. Renard. 1976 Use of the Universal Soil Loss Equation in the semiarid Southwest. *Soil Erosion: Prediction and Control*. Soil Conservation Society of America: pp. 42-49
- (12) Ruangpanit, N. 1983 *Percent Crown Cover related to Water and Soil Losses in Mountainous Forest in Thailand*. *Soil Erosion and Conservation*. Proceeding of 'Malama Aina 1983' The International

- conference on soil erosion and conservation. Soil and Water Conservation Society of America: pp. 462-471
- (13) Sheng, T. C. 1981 *The Need for Soil Conservation Structures for Steep Cultivated Slopes in the Humid Tropics*. Tropical Agricultural Hydrology: pp. 357-372 J. Wiley
- (14) Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978 *Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation* Agriculture Handbook No. 537. USDA
- (15) 村上公久 1984 「林地の放牧草地への転用による水土保全機能の劣化」『95回日本林学会論文集』 pp. 605-606

参考文献

- Baver, L. D. 1939 Ewald Wollny, A pioneer in soil and water conservation research, *Soil Science Society of America*, 3, 330-333
- Bennett, H. H. 1939 *Soil Conservation*, McGraw-Hill, New York
- Boerma, A. H. 1975 The World Could be Fed, *Journal of Soil and Water Conservation*, 30, 1, 4-10
- Boardman, John ; Poesen, Jean (2006). *Soil erosion in Europe*. Wiley.
- Boserup, E. 1993 *The Conditions of Agricultural Growth*, Earthscan, London (first published by Allen & Unwin, London 1965)
- Brown, Jason ; Drake, Simon (2009). *Classic Erosion*. Wiley.
- Ellison, W. D. 1944 Studies of Raindrop Erosion, *Agricultural Engineering*, 25, 131-136, 181-182
- FAO 1991 *Environment and Sustainability in Fisheries*, FAO, Rome
- FAO 1992 *Protect and Produce*, 2nd edition, FAO, Rome
- Jacks, G. V. and R. O. WHYTE 1939 *The Rape of the Earth : A world survey of soil erosion*, Faber and Faber, London. Published in USA as *Vanishing Lands : A world survey of erosion*, Doubleday, New York
- Laws, J. O. 1941 Measurements of fall-velocity of water-drops and raindrops, *Transactions of the American Geophysical Union*, 22, 709
- Lowdermilk, W. C. 1953 Conquest of the land through seven thousand years, *Agriculture Information Bulletin 99*, US Department of Agriculture Soil Conservation Service
- Lowry, J. H. 1986 *World Population and Food Supply*, 3rd edition, Edward Arnold, London
- Maddox, J. 1972 *The Doomsday Syndrome*, Macmillan, London
- Malthus, T. R. 1966 *First Essay on Population*, a reprint in facsimile of an *Essay on the Principle of Population, as it affects the future improvement of society*, 1798, Macmillan, London
- Mctainsh, G. H., C. W. Rose, G. E. Okwach and R. G. Palis 1992 Water and Wind Erosion : Similarities and Differences, chapter 9, in *Erosion, Conservation, and small-scale Farming*, edited by H. Hurni and K. Tato, *Geographica Bernensia*
- Meadows, D. H., D. L. Meadows, J. Randers and W. W. Behrens III, 1972 *The Limits to Growth*, Earth Island, London
- Meadows, D. H., D. L. Meadows and J. Randers 1992 *Beyond the Limits*, Earthscan Publications, London
- Montgomery, David (October 2, 2008). *Dirt : The Erosion of Civilizations* (1st ed.). University of California Press.
- Montgomery, David R. (2007) *Soil erosion and agricultural sustainability* PNAS 104 : pp. 13268-13272
- Ohadike, P. O. 1992 Population, Policy Development and Implementation in Sub-Saharan Africa, *African Development Review*, 4, 2, 273-297
- Oldeman, L. R., R. T. A. Hakkwling and W. G. Sombroek 1991 *World Map of the Status of Human-*

- Induced Soil Degradation*, International Soil Reference and Information Centre, Wageningen
- Parry, M. L. 1978 *Climatic Change, Agriculture and Settlement*, Dawson & Sons, Folkestone, Kent
- Pereira, Sir Charles, H. 1993 Food production and population growth, *Land Use Policy*, July 1993, 187-190
- Reifenberg, A. 1955 *The Struggle between the Desert and the Sown ; Rise and Fall of Agriculture in the Levant*, The Jewish Agency, Jerusalem, Israel
- Revelle, R. 1976 The Resources Available for Agriculture, *Scientific American*, 235, 1, 164-178
- Shaxson, T. F., N. W. Hudson, D. W. Sanders, E. Roose and W. C. Moldenhauer 1989 *Land Husbandry : A Framework for Soil and Water Conservation*, Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa
- Stallings, J. H. 1957 *Soil Connservation*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey
- Stocking, M. A. 1987 *A Methodology for Erosion Hazard Mapping of the SADCC Region*, Report 9, SADCC-ELMS, Lesotho
- Tiffen, M., M. Mortimer and F. Gichuki 1993 *More People, Less Erosion, Environmental Recovery in Kenya*, Wiley, Chichester, Sussex
- Vaidyanathan, K. E. 1992 Population Trends, Issues and Implications, *African Development Review*, 4, 2, 1-32
- Vanoni, Vito A., ed. (2006) Chapter 1. "Nature of sedimentation problems", *Sedimentation Engineering*. ASCE Publications. pp. 1-10
- Vita-Finzi, C. 1969 *The Mediterranean Valleys - Geological Changes in Historical Times*, Cambridge University Press
- Vogt, W. 1948 *Road to Survival*, Sloane, New York
- Wischmeier, W. H. 1955 Punched cards record runoff and soil loss data, *Agricultural Engineering*, 36, 664-666
- Wischmeier, W. H., D. D. Smith and R. E. Uhland 1958 Evaluation of Factors in the Soil-Loss Equation, *Agricultural Engineering*, 39, 8, 462-474
- WORLDWATCH INSTITUTE 1988 The changing world food project: the nineties and beyond, *Worldwatch Paper 85*, Worldwatch Institute, Washington DC
- WORLDWATCH INSTITUTE 1993 *State of the World 1993*, Earthscan Publications, London
- WORLD RESOURCES INSTITUTE 1988 *World Resources 1988-89*, Basic Books, New York
- WORLD RESOURCES INSTITUTE 1992 *World Resources 1992-92*, World Resources Institute, Washington DC

Soil Erosion, the Quiet Crisis

— Soil Erosion Problems and Soil Conservation Measures —

Kimihisa MURAKAMI

Summary

Soil erosion is the major cause of devastation of land. It is a “quiet crisis” in both national and global economies. Impelled by both population pressure and shortage of food, people excluded from flat lands downstream, living on slash-and-burn cultivation (shifting cultivation), are forced to live at higher elevations on upstream slopes. This causes deforestation, which leads to soil erosion, in the tropics. Population pressure drives the conversion of the forest into agricultural land. More grassland and forest are being forcibly opened to food production and are exposed to soil erosion. This stress accelerates the deforestation trend and leads to the loss of fertile soil. Soil erosion causes not only transport of soil and land degradation that results in diminished productivity of upland farming, but also sedimentation or siltation of river systems, lakes, and reservoirs, damaging people’s life and prosperity. Nevertheless, soil erosion is not a natural disaster like earthquakes, volcanic eruptions, or any other unavoidable natural hazards, but is man-made and avoidable.

Key words; soil erosion, desertification, soil conservation, land-use, developing countries