

タイの森林破壊と生態系の攪乱(Ⅲ)

田 坂 敏 雄

—目 次—

第1章 農村過剰人口と森林破壊

1. タイの森林型

1.1. 森林型の成因

1.2. 森林型の地域構成——1961年段階——

2. 森林破壊の大きさ

2.1. 人工衛星ランドサットの森林調査

2.2. 森林破壊の諸形態 (以上第12巻3・4合併号)

3. 農村住民の流動と「不法侵入」

3.1. 経済の地域的不均等発展と農村人口の流動

3.2. 「不法侵入」の諸形態 (以上第13巻第1号)

第2章 森林破壊と生態系の攪乱

(以下本号)

1. 森林生態系と環境保全的効用

1.1. 生態系と人間活動

1.2. 森林生態系と環境保全的な効用

2. 塩害の拡大と稲作被害

2.1. 東北タイの地質と土壌

2.2. 塩害発生のメカニズム

2.3. 塩害地域と稲作被害

3. 土壌侵蝕の広域化と侵蝕被害

3.1. 土壌侵蝕の発生因子

3.2. 土壌侵蝕の諸形態

3.3. 侵蝕地域と被害

4. 旱魃と洪水

4.1. 気候システムと旱魃

4.1.1. 降水量の傾向的低下

- 4.1.2. エルニーニョ現象と少雨
- 4.1.3. 森林破壊と大気
- 4.2. 東北タイの水文と洪水
- 5. 小括
——自然と社会の再生産の危機——

第2章 森林破壊と生態系の攪乱

森林は自然のシステムの根幹をなすものであり、人間の生命活動を保全する生活環境そのものである。しかし、前章で指摘したような容赦ない乱伐の進行は、深刻な土壌流出や塩害の広域化、早魃と洪水の慢性化をもたらし、自然のシステムの攪乱を引き起こす。森林はまた、物質資源として薪や生活用材を提供するだけでなく、豊富な食料資源（果実や食用・薬用植物、食用の昆虫・鳥類など）の宝庫として、貧困な地域住民の日常生活を支えている。森林の破壊は、したがって木材と食料の欠乏を引き起こし、地域住民の栄養失調と生活水準の低下につながるものである。

本章では、まず〈生態系（エコシステム）〉についての考え方を紹介しつつ、森林生態系の環境保全的な効用について概観する。つづいて本論に入り、森林破壊による生態系の攪乱の現状を、東北タイの塩害・土壌侵蝕・早魃と洪水、の三側面より観察する。

1. 森林生態系と環境保全的効用

1.1. 生態系と人間活動

(1) 近年、フロンガスによるオゾン層の破壊と希薄化、化石燃料の燃焼や化学物質の廃棄による大気汚染、なかでも大気中の二酸化炭素の増大による地球の温暖化と、湖沼や森林の酸性化と劣化、そして熱帯林の破壊と動植物の種の大量絶滅の危機など、地球の生命維持システムがいたるところで破綻している。しかも、これらの地球環境問題は、人間の経済活動の高度化とともに深刻

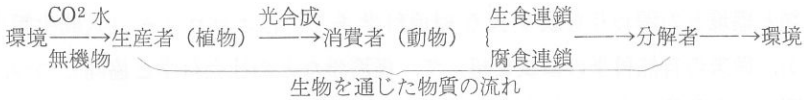
化している点の特徴である。このような人類による環境破壊が進むなかで、人類と環境との関わりを取り扱う環境科学あるいはエコロジー（人間生態学）が、従来の自然科学の領域を超えて、経済学などの社会科学と協同しつつ、人間の生存条件を考察する科学として登場してきた。ここでは、これらの成果を参考にしつつ、環境問題考察の視点とでもいうべきものを、やや一般論的に整理しておこう。

群集生態学では、ある一定の地域で生活をともにする生物群集と無機的環境とは、物質の循環とエネルギーの流れを介して一つの系（システム）＝生態系（エコシステム）を形成する、と捉えている。生態系における物質循環は一般に次のように説明される¹⁾。

まず、生産者である緑色植物は、太陽光線をエネルギー源として無機的環境から取り込んだ物質（二酸化炭素や水・無機養分）を素材として光合成を行ない、有機物をつくり出す。地球上の全生物のなかで、太陽の光エネルギーを直接利用できるのは、葉緑素をもった緑色植物だけであり、彼らは、それを化学的エネルギーに転換し、消費者や分解者が利用できる有機物の形に固定するわけである。消費者（動物）は、この太陽エネルギーの産物である光合成物（デンプン、タンパク質、油脂、繊維素など）を、彼らの成長・増殖や生活行動に必要な形態に転換して利用する。もっとも、消費者といってもいろいろな段階の消費者があり、食う食われるの順位関係の序列＝食物連鎖（生食連鎖と腐食連鎖）が形成されている。生産者と消費者の排泄物とリター（動植物遺体）は地表面に堆積してリター層を形成するが、最終的にはカビやバクテリアなどの微生物によって分解され、無機物として再び環境に還元される。しかし、そこで流れがとどまるわけではない。無機的環境に戻された土壌有機物は土壌の生成に関与しつつ、やがて無機化された炭素は二酸化炭素として大気にかえり、植物養分は再び次の光合成の原料として吸収されリサイクルする。以上の物質

1) 以下の解説は常識的なものだが、叙述にあたっては、『日本大百科全書』小学館、1987年、第13巻、の当該項目（寺本英）や、只木良也「森林生態系というもの」只木良也・吉良竜夫編『ヒトと森林』（共立出版）、1982年、第Ⅱ章、などを参照した。

循環を図示すれば、次のようである。



このように、生態系は、太陽光線をエネルギー源とし、無機的環境→生物（生産者→消費者→分解者）→無機的環境というサイクルで物質の有機化・無機化の過程を繰り返すことにより営まれているところの、一つの巨大な「自律的機関」とみなされる²⁾。この自律的機関において、植物による有機物生産は、動物や微生物の生命活動を支え、生態系の諸々の活動の基盤を提供する意味で、基礎生産ないし一次生産と呼ばれる。この一次生産の大きさが消費者や分解者を扶養する能力をなし、その生態系の規模を決定することになる。なお、消費者や分解者も、一次生産物を消費して別の有機物を再生産するが、これは二次生産と呼ばれる。

ところで、生態系が永続的に安定するには、生物と環境とのバランスが維持され、いかに理想的な物質循環系が存在するかにかかっている。もちろん、生物と無機的環境はそれぞれ独立して存在しているのではなく、相互に作用あって生態系を形づくっている。無機的環境が生物に働きかける作用とともに、生物が環境に及ぼす逆作用もあり、前者は「環境作用」、後者は「環境形成作用」と呼ばれる。これに生物同士の「相互作用」が加わる。これらの生物と環境との相互作用系が空間的・時間的に変化していくことを「生態遷移 (ecological succession)」という。つまり、「生物的自然と無機的自然のあいだや、生産者・消費者・分解者のあいだには、一種の動的な緊張が保たれており、その構成要素の変化によって生じた〈ひずみ〉をたえず調整」³⁾し、安定した状態にむけて遷移する傾向がある。この遷移には、生物の「環境形成作用」など、生物自身に起因して生れる「自発的遷移 (autogenic succession)」と、生物以外の

2) 「自律的機関」という概念は、寺本英の規定。前掲『日本大百科全書』第13巻、384頁。

3) 依田恭二『森林の生態学』築地書館、1971年、8頁。なお、「環境作用」「環境形成作用」という用語法は、只木良也・前掲論文より。

要因がきっかけとなる「他発的遷移 (allogenic succession)」とがある⁴⁾。

(2) しかし、近年の地球生態系の安定性の攪乱は、より高度な系へと変遷していく生態遷移の過程のなかで発生したのではなく、人間による「環境形成作用」が逆に人間の生存環境を破壊するまでになったことに基因している。そこで重要なことは、生態系を構成する「生物」を〈動植物〉だけにとどめず、〈人間〉の存在そのものをも含め、人間と環境との相互作用として、生態系の循環系を再考することである。つまり、人間も生態系の一環を形成し、その循環系の運動のなかに組み込まれて生命活動を行なっているのである。この意味で、人間の生活も自然の生態系 (生物圏) の一部にはかならない。

とはいえ、人間の生命活動は、自然の物質循環のなかにありながら、〈労働〉を媒介として積極的・意識的にその物質循環をコントロールしているのであり、この点、他の生物がたんに自然の物質循環の盲目的な一環を構成しているのとは異なっている。井上晴丸は、このような物質代謝における〈労働〉の役割について、唯物論的な理解を再確認しながら、現代の環境問題をみるさいの観点を次のように指摘している⁵⁾。

「労働はひとびとの生命活動を他の生物の生命活動から区別するところの人間の生命活動の特色であり、社会の自然とのコントロールされる物質代謝はまさに労働を介して成りたっている。」つまり、「社会が自然の物質代謝をコントロールする能力」=「社会が自然を従える能力」とは「社会の生産能力」のことであるが、この社会の能力を担うのは要するに人間の〈労働〉に帰着するのである。「そういう意味で労働は社会の対自然関係を媒介するかなめをなす」のである。さらに、労働過程は社会の対自然関係だけでなく、生産における人々の間の相互関係の側面においても重要な要点をなす。なぜなら、社会が自然との間で行なう各種の物質代謝の過程は、同時に社会という有機体内の人

4) 森林の生態遷移については、萩野和彦「森林の遷移」堤利夫編『森林生態学』朝倉書店、1989年、第2章、などを参照。

5) 井上晴丸「社会の生活と自然」井上晴丸著作選集第3巻『日本経済の構造と農業Ⅲ』雄渾社、1972年、村篇 (その二)、以下の引用は345~353頁より。

間相互間の物質代謝（富の生産及び消費と補填）の過程を伴うものだからである。「とするならば、労働過程は、生産力の側面での対自然的な物質代謝の意からも、生産関係側面の領域にかかるところの社会有機体内での社会的物質代謝の意からも、それぞれに物質代謝の要点として、…かなめをなすにちがいない。」なお、言うまでもないことだが、物質代謝におけるこれらの二側面は、生産様式概念に置き換えていえば、物の生産＝再生産と、社会有機体内の社会関係の再生産との、これら二側面に対応するものである。

このように、生産力的側面の領域と生産関係の側面の領域とを統一的に理解することが、今日の問題を考えるにあたって重要な意義をもってくるのである。ただもう少し具体化しておくことが必要だろう。

(3) 社会エコロジーは、自然と経済の相互作用について、一般に次のように解説する。「人間の経済活動は、社会現象であると同時に、自然現象としての側面をもっている。それは自然のなかにあつて、自然から資源を採取し、生産、消費の過程とともに、自然になんらかのものを廃棄する活動である。いいかえれば、人間の経済社会は、地表の部分系（サブシステム）であり、自然環境との間に絶えざる相互作用をもっている。この相互作用について十分な配慮を欠く場合、経済活動の進行とともに、自然からの反作用がさまざまな形の困難、障害をもたらし、ときには社会の存続を危うくすることもある。」⁶⁾ この解説は要を得て、分かりやすいものであるが、しかし資本主義的生産様式の「原罪」についての認識が稀薄であるように見受けられる。

すなわち、産業革命によって開かれた近代技術の資本主義的利用は、「都市と農村との対立」という形での自然的再生産の攪乱を絶えず拡大する構造をもつものであり、それは、翻って社会的有機体内での社会的関係の再生産までも困難に陥れる。資本主義的生産が歴史の舞台への登場とともに作り出した、自然の再生産と社会の再生産との攪乱は、資本主義的生産様式のもつ、そもそもの「原罪」というべきものであった。エンゲルスは次のように述べている。

「蒸気力を主として都市に集中し、また工場村を工場都市につくりかえるも

6) 『日本大百科全書』小学館、1985年、第3巻、「エコロジー」（神里公）、442頁。

のは、蒸気力の資本主義的利用である。だが、それは、そうすることで、同時にそれ自身の経営の諸条件を掘りくずす。蒸気機関にとって第一の要件であり、また大工業のほとんどすべての事業部門にとって主要な要件であるものは、比較的きれいな水である。ところが、工場都市は、水という水を悪臭をはなつ汚水に変えてしまう。だから…産業資本家はみな、資本主義的生産によって必然的につくりだされた大都市を去って農村での経営に移ることに、たえず努めるのである。…資本主義的大工業は、たえず都市から農村へのがれることによって、たえず新しい大都市を生みだしている。」「こういうわけで、都市と農村との対立を廃止することは、たんに可能なだけではない。それは、工業生産そのものの直接の必要事となっており、同様にまた、農業生産の面からみても、さらに公共衛生の面からみても、必要なことになっている。都市と農村とを融合させることによってのみ、今日の空気や水や土壌の汚染をとりのぞくことができるし、そうすることによってのみ、今日都市で瘦せおとろえている大衆の状態を変え、彼らの糞尿が、病気を生みだすかわりに植物を生みだすために使われるようにすることができる。」⁷⁾

しかし、今日、資本の拡大再生産による自然の再生産の攪乱は、エンゲルスの見た「都市と農村の対立」とは桁違いの、地球的規模で進行している。「独占資本主義のいまの生産力段階では…広大な自然的再生産との一体化を遂げるまでに、社会的に作用する諸力を統御するのではなかったら、人間の生存環境をぶちこわしてしまうところまでたちいたった。生産が資本の利潤生産であり、生産拡大が利潤の資本への再転化としてだけ進むところの、資本主義的な生産方法とその技術では、生産による自然環境の攪乱・自然環境汚染の回復を自然の進行にまかせる方式、すなわち『自然の浄化作用』にゆだねるという行き方が…もはや不当とするところまできてしまっていること」⁸⁾が明らかである。その結果、資本の拡大再生産は、社会有機体内での物質代謝の攪乱→労働者階級

7) F. エンゲルス「オイゲン・デューリング氏の科学の变革」『マルクス=エンゲルス全集』大月書店、1968年、第20巻、304頁。

8) 井上晴丸・前掲論文、361頁。

の貧困化＝「あらゆる形態の貧困の高蓄積」を強制するとともに、対自然的な物質代謝の攪乱を地球的規模において引き起こすことになった。すなわち、フロンガスによる成層圏オゾン層の破壊、大気中の二酸化炭素濃度の上昇、酸性雨による土壌と湖沼の劣化、熱帯林の破壊と砂漠化、生物資源の枯渇など、地球環境の危機がこれである。40億年の地球の歴史を通じてつくり上げられた「バイオ・スフェア（生物圏）」は、無数の小さな生態系から地球生態系に至るまで、様々な段階に応じた安全維持機構を備えている。「人類はこのシステムを構成する動物の一種として地球上に出現した。しかしバイオスフェア・システムから受ける制約をきらって自然のシステムから抜けだし、独自の文明を発達させる道を進んできた。…拡大した文明システムが排出するべく大量のエネルギーや物質が、地球環境のバランスをこわしはじめている。」⁹⁾いまや、「拡大した文明システム」＝資本の生存環境は、人間の生存環境たるべきバイオ・スフェアとは異質であるばかりか、本来的に敵対関係にあることが明らかになった。

われわれの課題は、以上瞥見してきた問題領域のなかで、熱帯林の破壊とそれによって引き起こされる生態系の攪乱の問題を俎上にのせることである。そこで、以上述べてきた視角をさらに具体化し、現実接近するために、生態系一般から森林生態系の問題に進むことにしよう。

1.2. 森林生態系と環境保全的な効用

(1) 森林生態系の骨格をなし、かつその性格を決定するのは樹木なかならず高木である。しかし、森林は高木だけでなく、その下に様々な中低木や灌木、蔓・蔦・羊歯・苔の類が重なり合い、樹冠層から下生え層まで幾重もの階層に分化し、それぞれ系内外と光や熱、二酸化炭素のやり取りを行なっている。「このような、生産者の空間的な『すみわけ』(habitat segregation)と、それに

9) 吉良竜夫「バイオスフェアとは何か」『Newton』別冊<地球クライシス>教育社、1989年8月、151頁。

伴う機能的な分化が、森林生態系の高い物質密度と生産力を維持するのに必要なものである」。森林生態系はまた、「生産者である植物のもつ圧倒的に巨大な現存量」によって特徴づけられ、「そこでは、消費者である動物たちの姿は、巨大な植物にかくされ、その、森林生態系の物質循環の上ではたす量的な役割りも、正常な状態ではきわめて小さい」。したがって、草地生態系では、生産者と消費者とのバランスが重要なものに対して、「森林生態系の場合は、生産者と分解者の間のバランスが、特に重要な系の状態決定因子となっている。」¹⁰⁾もちろん、森林生態系も、生物群集の構成員の変化や、生物と環境との相互作用系の時間的变化によって生態遷移を引き起こすが、成熟した極相林においては生物相互と、生物と環境との間に安定した関係がつくられる。このように、森林じしんも遷移していくものであるが、同時に森林は「自然の植生の移り変わりの最終に位置」し、「陸上における生態系の究極の姿であり、生態系の典型」¹¹⁾なのである。

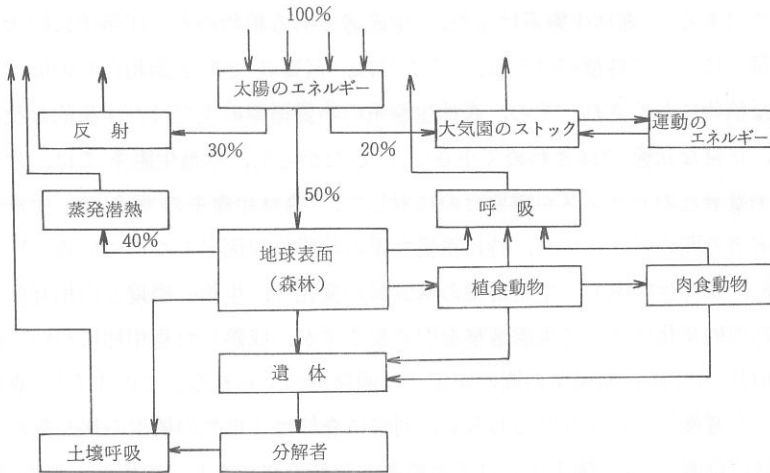
次に、森林生態系におけるエネルギー循環をみれば、図2-1のようである。地球の大気圏に到達した太陽放射量は $1.98\text{cal/cm}^2/\text{分}$ であり、「太陽定数」と呼ばれる。太陽放射は地球表面に到達する間に、30%は大気中の分子による散乱や雲・地表面などの反射によって宇宙空間に放出され、また20%は大気中の水蒸気・塵・オゾンなどによって吸収されて大気の熱エネルギーとなる。したがって、地表面が吸収する太陽エネルギーは最終的には太陽定数の半分だけとなる。森林に到達した太陽エネルギーは、さらに地表面からの長波放射などによって失われ、結局、純放射は残り40%となる。この純放射の大半は潜熱として消費され、森林が光合成に利用するのは数パーセントにも満たない。

ともあれ、森林の植物群落は光合成作用を通じて、この太陽放射エネルギーを有機物の化学エネルギーに転換する。これが一次生産である。そして、この光合成によって生産された有機物の総量が「総生産量 (gross production)」

10) 以上の引用は、依田恭二・前掲書、10~11頁より。

11) 只木良也・前掲論文、33頁。

図2-1 生物圏におけるエネルギー循環の模式図



(出所) 依用恭二『森林の生態学』築地書館、1971年、p 15. ただし、若干、加筆している。

(注) 森林の熱収支式は次のとおり。

$$\text{純放射} = \text{潜熱放熱} + \text{顕熱放熱} + \text{光合成} + \text{樹木加熱} + \text{土壌加熱}$$

である。しかし、森林では、植物体の生活に使用される有機物量 = 「呼吸消費量 (respiration)」が他の陸上生態系と比べてはるかに大きい。そのため、「純生産量 (net production)」, つまり実際の植物体に固定される量は相対的に少ない。なお、「現存量 (plant biomass)」とは食物連鎖に流れなかった有機物量のことである。以上の各項目について次のような式が成り立つ。

$$\text{総生産量} - \text{呼吸消費量} = \text{純生産量}$$

$$\text{純生産量} - \text{食物連鎖に流れた有機物量} = \text{現存量}$$

これらのエネルギーの流れを示す各指標は、単位土地面積当りの乾物量 (トン/ha/年) で表示し、生産速度を表現する。

さて、吉良竜夫のマレーシア・パソアの熱帯多雨林調査によると、熱帯多雨林の一次生産力は次のようである。まず有機物の総生産量は平均100トン/ha/年になるが、その74%は樹木の呼吸によって消費されてしまうため、植物体となって残る純生産量は25.7トン/ha/年にすぎない。また、1年の間には一部の樹

木は枯れ、また葉や小枝の枯れ落ち更新されるので、生きた樹木の現存量はわずか6トン/ha/年の増分にしかならないという。つまり、純生産量の4分の3は枯れた樹木の埋め合わせに利用されるのである。「現存量の年平均増分6トンという数字は、胸高直径60cmの木1本の乾重量にほぼ相当します。直径45cmの木なら2本、35cmの木なら3本分です。1年に1ha当りこの程度の木が余分に枯れたら、現存量の増分はゼロになってしまうわけです。」¹²⁾要するに、極相に達した熱帯の植物群落は呼吸消費量が大きく、一種の定常状態にあるため、現存量の更新率はほぼゼロに近いことが分かるのである。

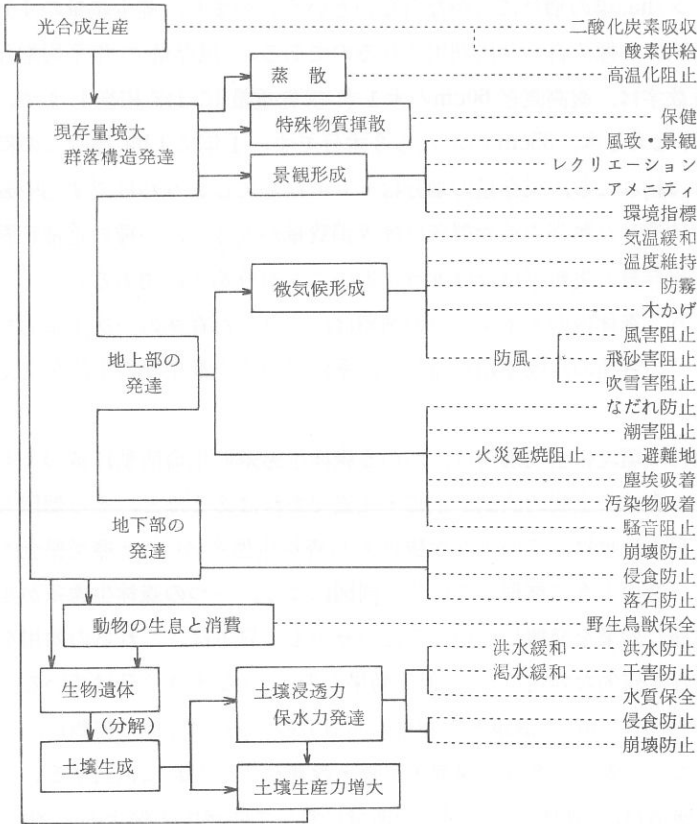
ともあれ、森林内のエネルギーの循環は、こうした森林の一次生産力を基盤として生じ、各種の食物連鎖を通じて、系内の動物や微生物の生活を支えるわけである。

(2) 森林の環境保全的効用は、かかる森林生態系生命活動に基づくものであるから、森林の生物的活動が正常・旺盛であればあるほど、その効用も大きくなる。只木良也は、このような観点から森林生態系が生む環境保全的効用を、図2-2のように整理している。同図により、一つの森林生態系がきわめて多種多様な効果を発揮していることが分かる。只木は、これらの効用を「森林に固有な本質的な効用」と「対症効果」の二つに大きく分けている。前者は、「人間生活の福祉と健康とに効果のあるものであって、他の何物によっても代替しえない」効用であり、保健・風致・教養などがこれに相当する。これに対して、後者は、「森林がその周辺環境に対して防護的・保全的に働き、間接的に人間生活の健康と安全に寄与する」効用である¹³⁾。本項では、対症効果のうち、行論上必要な「侵蝕防止」や「洪水防止」、「気候緩和」や「高温化阻止」に注目し、簡単な予備知識を整理しておきたい。また、地球の温暖化との関連で注目を浴びている、熱帯林と「二酸化炭素吸収」についても瞥見しておきたい。

12) 吉良竜夫『熱帯林の生態』人文書院、1983年、136頁。

13) 只木良也「人間生活を守る森林」只木・吉良編・前掲書、第1章、および只木良也『森と人間の文化史』日本放送出版会、1988年、第5章、第6章を参照。

図2-2 森林生態系と環境保全的効用



(出所) 只木良也・吉良竜夫編「ヒトと森林」(共立出版, 1978年) 37頁。

① 水源涵養・洪水防止・侵蝕防止¹⁴⁾。森林土壌は、A層(表層), B層(下層), C層(基層)に区分され, それぞれ構造(土粒子の集まり方), 組織(砂礫と粘土の割合), 堅密度, 有機物量に違いがある。優良な森林のA層は, 地下部の発達や, 動植物のリターフォールや土壌生物の活動により, 様々な大きさや形

14) 中野秀章「森林の理水作用」, 高橋啓二「森林の防災作用」只木・吉良編・前掲書, 第IV章, 第七章, 前田正男・松尾嘉郎「土の基礎知識」農山漁村文化協会, 1974年, 中野秀章・有光一登・森川靖『森と水のサイエンス』東京書籍, 1989年, などを参照。

の孔隙が発達し、柔らかく隙間の多い団粒構造が形成されている。森林に降った雨は、林冠で遮断される一方、浸透能の優れた団粒構造により地中に浸み込んで保水され、地表流水量は減少する。また、森林の蒸散作用により地下水が汲み上げられるため、森林からの総流出水量は裸地より少ない。この結果、降水直後に雨水が河川へ急増することもなく、また逆に地下に保水された浸透水が徐々に流出するため河川は潤れることがない。そして、地表流水量が少なく、しかも落枝葉・根株によって地表が保護されているため、大規模なガリー（雨谷）が発生することがない。森林の表土侵蝕防止能力は、裸地の50倍、荒蕪地の200倍といわれている。

② 高温化防止・気候緩和¹⁵⁾。森林に入射した太陽の放射エネルギーは、アルベド（反射によって空中にかえる太陽光線の量）や上向き長波放射によって、一部喪失される。それらを差し引いた「純放射量」が実際に森林の生物活動や気象現象に利用されるエネルギー量である（図2-1参照）。この純放射は、潜熱放熱、顕熱放熱、樹木加熱、土壌加熱、光合成に配分利用されるが、後三者の熱収支項は光合成を含め、非常に小さい。良好な森林の場合、入射した純放射の70~80%（夏季の生育期間中は90%）は水分の蒸発散のための熱源=潜熱として利用される。1gの水を蒸発させるのに必要なエネルギーは600カロリーと推計される。この結果、森林に被覆された地域では、夏季の、太陽エネルギーの入射量の大きな時期であっても、この潜熱による蒸散作用によって気温と地熱の上昇が抑えられ、気候緩和と湿度維持→微気候が形成される。

これに対して、森林が伐採され裸地になると、水の蒸発散量は40~60%も減少する。かわって顕熱放熱（地表と大気との直接的な熱交換）が増大し、地表の気温と地熱を高め、気候状態に影響を与える。また、水の蒸発散が減少した分、河川への流水量が増大し、地域の水循環における水量が減少して降水量にも影響（→早魃）を与える。たとえば「レイン・マシーン（rain machines）」であるアマゾンの熱帯林では、水の4分の1が直接的に蒸発し、2分の1近く

15) 松田松二・内嶋善兵衛・中野秀章「森林の気候緩和作用」只木・吉良編・前掲書、第三章、などを参照。

が植物からの蒸散という形で大気中に帰っていく。残りの4分の1が流出となり太平洋に戻っていく。つまり、降雨量の4分の3が大気中に帰っていくわけだが、森林が伐採されると、この比率が逆転する。「降雨量の4分の1のみが大気中へ帰り、4分の3がただちに大洋に流れ去ってしまうことになる。いずれ雨になるべき湿気が大気中にあまり含まれないと、その地域の降雨量はそれだけ減少する。直接的であれ間接的であれ蒸発による雨雲の補充が内陸部での主要な降雨の源になるので、この減少傾向による変化は海洋からの距離に比例して増幅される。」¹⁶⁾もちろん、降雨量や気候の変化については、地球規模での大気循環が重要であるが、この解説のように、森林破壊にともなう熱収支と水循環の変化→気候変化についても考慮すべきであろう。

③ 二酸化炭素の吸収と放出¹⁷⁾。大気中の二酸化炭素の濃度は、19世紀末には290ppmであったが、1980年には335ppmとなり、2000年には370～380ppmにまで上昇するだろうといわれている。最近の増加速度は1年当り1.0ppmであり、化石燃料の消費曲線と並行して上昇している。大気中の二酸化炭素の濃度が上昇すれば、地表から放出された長波長の赤外線が吸収され、地球の熱収支のあり方を変化させ、いわゆる「温室効果」を生む。したがって、増加傾向がこのまま続けば、2030年には地球の平均気温が1.5～4.5°C上昇するだろうと予測されている。わずか数度の気温上昇であるが、地球の気候を大きく変化させ、森林植生や農業に深刻な影響を与えるとみられている。

こうした地球の温暖化に対する森林のフィールドバックの可能性について、大きく二つの見解に分けられる。一つは、G. ウッドウェルの見解で、おおよ

16) レスター・R・ブラウン『地球白書』1985年版、福武書店、1986年、13頁。

17) 二酸化炭素の「温室効果」問題についての参考文献は、枚挙にいとまないが、入手しやすく、かつ平易に解説したものに、高橋浩一郎・岡本和人編『21世紀の地球環境』日本放送出版協会、1987年、「NHK地球汚染① 大気に異変が起きている」日本放送出版協会、1989年、『Newton』別冊〈地球クライシス〉教育社、1989年8月、レスター・R・ブラウン『地球白書』ダイヤモンド社、1987年版、および88—89年版、また、オゾン層問題については、上記文献のほか、環境庁「オゾン層保護検討会」編『オゾン層を守る』日本放送出版協会、1989年、などを参照。

そ次のような考え方である。つまり、二酸化炭素の大気中への蓄積によって気温上昇→樹木の呼吸率上昇(とくに気温の上昇が顕著な中高緯度地域)→呼吸が光合成を上回る→大気中から除去した以上の二酸化炭素を放出し、かつ樹木の成長が止まり、最終的には枯死、という説である。これに対して、もう一つの見解は、気温上昇→有機物の分解、栄養物が土中に溶解→樹木の成長促進→大気中の二酸化炭素を除去して温暖化の進行を緩和、という考え方である。森林の温暖化に対するフィードバックについて、正か負のいずれにせよ、不確実さが大きく残されているといえるだろう¹⁸⁾。

以上は、地球の温暖化問題を取り扱った最近の文献に共通してみられる指摘である。われわれが、ここでとくに注目しておきたいことは、地球の炭素循環における森林の位置、なかんずくタイの森林破壊にともなう炭素の放出量の大きさ、である。大気中の二酸化炭素量は7000億トン、陸上植物と土壌の炭素含有量は約2兆トン、また化石燃料の埋蔵量は約10兆トンと推計されている。枯れた植物体が分解され大気中に還元される炭素量は毎年550億トンであるが、光合成によって植物体に固定される炭素量もほぼそれと同量とみられ、収支が均衡していた。しかし、近年、森林破壊が急増したため、伐採による放出炭素量は、化石燃料の燃焼による放出量(年間50億トン)の20~50%に相当する10~26億トンと推計されている。これが、プラス・アルファとしてさきの550億トンにつけ加わる。R. ホートンの研究によると、これらの伐採による炭素放出量のうち、温帯と寒帯の森林から出るのはわずか1億トンにすぎないが、残りの19億5900万トンは熱帯林からの放出である。表2-1は、熱帯林からの炭素の純放出量の推計値を国別に表示したものである。これによると、アマゾンの熱帯林を擁しているブラジルが放出総量の20%、3億3600万トンを放出して断然トップであるが、われわれの対象とするタイも全体の6%にあたる9500

18) George M. Woodwell, "Forests and Climate: Surprises in Store." in *Oceanus*. Winter 1986/87. R. A. Houghton. "Carbon Dioxide Exchange between the Atmosphere and Terrestrial Ecosystems" in Trabalka et al., *Atmospheric Carbon Dioxide*. Woods Hole, 1987.

表2-1 熱帯林からの炭素の純放出量の推定
(1980年)

国	純放出量(1) 百万トン	総量に占める割合 %
ブラジル	336	20
インドネシア	192	12
コロンビア	123	7
コートジボアール	101	6
タイ	95	6
ラオス	85	5
ナイジェリア	60	4
フィリピン	57	3
ビルマ	51	3
ベトナム	45	3
エクアドル	40	3
ベトナム	36	2
ザイール	35	2
メキシコ	33	2
インド	33	2
その他	337	20
合計	1,659	100

(出所) R. A. Houghton et al., "The Flux of Carbon from Terrestrial Ecosystems to the Atmosphere in 1980 Due to Changes in Land Use: Geographic Distribution of the Global Flux," *Tellus*, February/April 1987. ただし、レスター、R・ブラウン編『地球白書(88-89年版)』ダイヤモンド社、1989年、150頁より。

(注) (1)数値は推定幅内の中位値。熱帯林からの推定炭素放出量合計は9億から25億トンの幅がある。

億トンを放出して、世界第5位の「大国」となっている。¹⁹⁾タイの森林破壊の激しさと大きさを、炭素の放出量の側面からも、あらためて確認することができる。

森林破壊にともなう種の大量絶滅と「遺伝子のプール」の破壊など、森林生態系の攪乱問題として取り扱わなければならない問題がいくつもあるが、ここでは以上で環境問題の概論的検討を終えたい。以下では、東北タイの環境破壊の実態について解明することにしよう。

2. 塩害の拡大と稲作被害

東北タイの地下には、マハーサーラカム地層と呼ばれる「岩塩層(Nuoi Hin Klua)」が横たわっている。土地改良局のピチャイ・ウィチャイディットによると、東北タイの土地生産性の低さは、水不足・砂質土壌

19) R. A. Houghton et al., "The Flux of Carbon from Terrestrial Ecosystems to the Atmosphere in 1980 due to Changes in Land Use: Geographic Distribution of the Global Flux." in *Tellus*. February/April 1987.

・塩害の三つが原因である、とされる。ただし最近まで、この岩塩層に由来する塩害は、一部の地域を除いて深刻なものではなかったといわれている。ところが、1960年代以降に急増した森林破壊と、その耕地化の衝撃が、地下深くに眠っていた、この岩塩層を揺り起こし、塩害汚染という思わぬ報復を地域住民は受けとることになった。

土地改良局の土壌・水資源保全部は、塩害汚染の広がるなかで、農民向けに塩害対策パンフレットを多数発行する一方、1988年に『東北タイの塩害』という研究書を取り纏めた²⁰⁾。ソムシー・アルニンが編集した同書は、「ディン・ケム(アルカリ性土壌)」の発生・拡大のメカニズムから防止・改善方法や、土地利用方法まで、ディン・ケム問題を総合的に取り扱った、この国最初の研究成果であった。本節では、以下、同書を中心に、塩害汚染の現状を報告することにした。

2.1. 東北タイの地質と土壌

(1) 東北タイの塩害汚染を観察する場合、この地域の地質と土壌についての予備的知識が必要である。それはまた、次節で検討する土壌侵蝕の問題にとっても前提的な知識となるはずである。そこで、まず図2—3と図2—4を掲げ、この地域の地質学的特徴について簡単な解説をくわえてみよう²¹⁾。

コーラート高原は、「コーラート中生界堆積岩(Mesozoic Sedimentary rocks of Khorat Group)」と呼ばれ、中生代に堆積した沈殿物によって構

20) Somsri Arunin (ed.), *Khwan Ruruang Din Khem, Phak Tawan-ook-chiang-nua*. Krom Phatthana Thidin, 1988. [ソムシー・A編『東北タイの塩害知識』土地改良局]

21) 以下の地層に関する情報は、*Phaen Kan Chai, Thidin Phak Tawan-ook-chiang-nua*. Krom Phatthana Thidin, 1984. [『東北タイの土地利用計画』土地改良局] pp. 25~41. によっている。なお、地層の区分単位(地質系統区分)と時代の区分単位との関係は次のとおり。大区分から小区分の順に、地質系統区分単位: 界→系→統→階, 時代区分単位: 代→紀→世→期。例えば、新生界・第三系・中新統・アキタニアン階(地質系統区分)=新生代・第三紀・中新世・アキタニアン期(時代区分)のごとし。

成されるが、地質学的にはコーラート盆地、サコンナコン盆地、プーバーン山脈の三つに区分される。プーバーン山脈は、中生代（Mesozoic）の三疊紀（Triassic）に褶曲（fold）によって生成したもので、ウボンラーチャターニ

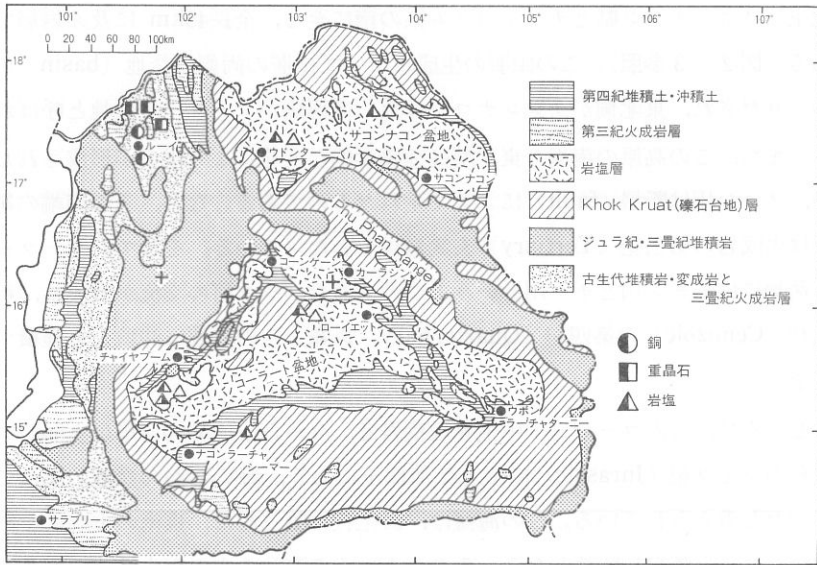
図2-3 東北タイの地形



(注) 県番号と県名は次のとおり。

1. ナコンパノム 2. サコンナコン 3. ノーンカーイ 4. ウボンターニー
5. ルーイ 6. ムクダーハーン 7. ヤソートン 8. ウボンラーチャターニー
9. カーラシン 10. コーンケー 11. マハーサーラカム
12. ローイエット 13. プリーラム 14. シーサケート 15. スリン
16. チャイヤブーム 17. ナコンラーチャシーマー

図2-4 東北タイの地質図



地質年代の区分

地質時代/[図A]区分

		(億年)																				
		5		10		15		20		25		30		35		40		45				
実際の長さの比で表した時代区分		中生代				中生代 (先カンブリア時代)								始生代 (太古代)								
地質時代の区分		新生代				中生代				古生代				原生代 (太古代)								
地質時代の区分	代	新生代				中生代				古生代				原生代 (太古代)								
	紀	第四紀		第三紀		白堊紀		ジュラ紀	三疊紀	ペルム紀(二疊紀)		石炭紀		デボン紀	シルル紀	オルドビス紀	カンブリア紀	先カンブリア時代				
	世	更新世	中新世	漸新世	始新世	中新世	白堊紀(後期)	白堊紀(前期)				ペルム紀(後期)	ペルム紀(前期)	石炭紀(後期)	石炭紀(前期)							
年(単位:百万年)	各期の始まり	0	1.7	5	24	37	54	65	96	143	212	247	289	341	367	416	446	509	575	約 2500		
	各期の長さ		1.7	3.3	19	13	17	11	31	47	69	35	42	52	26	78	78	49	30	63	66	約 40億年

注: *Armstrong & McDowell (1974) の年代値をその後の放射性元素の壊変定数の変更に伴って改訂した値(柴田・松本, 1977)

(出所) Krom Phatthana Thidin, *Phaen Kan Chai Thidin Phak Tawan-ook-chiengnua* [土地改良局『東北タイの土地利用計画』, 1985, p.30.]

一県の東、ピブーンマンサーハーン郡から始まり、カーラシン県の県境の北を北上しサコンナコン県とナコンパノム県の南に至る、全長45km に及ぶ岩層である（図2—3参照）。この山脈の生成によって山脈の両側に盆地（basin）が作りだされ、東北側がサコンナコン盆地、南西側がコーラート盆地と呼ばれる。また、この高原の南端と東北端は地質学的な変化により尾根が形成されたが、メコン川は断層（fault）によって生れたものである。なお、その南端の尾根は火成岩の第三紀（Tertiary）玄武岩層からなっている。そして、コーラート盆地にはムーン川とチー川という二つの大きなメコン河の支流が貫流し、新生代（Cenozoic）の第四紀（Quaternary）以降、その流域に沖積土を堆積してきている。

ところで、このコーラート中生界堆積岩は、今から1億5000万年以上前の中生代のジュラ紀（Jurassic）には未だ海面下にあり、海のなかの盆地、海盆であったと考えられている。この海盆は、新生代の第三紀に、東南の方向にやや傾斜しながら隆起し陸地となる。そのとき、その海盆の中の海水はそのまま閉じ込められ、岩塩層として形成され、東北タイの地下に横たわることになった。以後、この堆積岩は侵蝕されながら今日の地形を形成してきたわけである。いま、東北タイの地層を分類すれば、次のようになる。

1. 堆積岩と変成岩

1.1. シルリア系・デボン系・石炭系カーンチャナブリー地層

1.2. 石炭系・二畳系ラーチャブリー石灰石層

1.3. 三畳系コーラート岩層

1.3.1. ブークラドゥン地層

1.3.2. ブラウィハーン地層

1.3.3. プーパーン地層

1.3.4. コーク・クルアット（礫岩台地）地層

1.3.5. 岩塩層

2. 沖積土・段丘堆積土・溪谷土堤

2.1. 沖積土と段丘堆積土

2.2. 溪谷土堤

3. 火成岩

3.1. 三畳系花崗岩

3.2. 第三系安山岩と流紋岩の斑岩

3.3. 第三系玄武岩

3.4. 第三系閃緑岩と石英閃緑岩

ここでいう「三畳系コーラート岩層 (Triassic Khorat Group)」が、すでに指摘したコーラート中生界堆積岩のことであり、堆積した年代の古い順にブークラドゥン地層→プラウィハーン地層→プーバーン地層→コーク・クシアット地層→岩塩層、の5層から構成される。最下層のブークラドゥン地層は、ジュラ紀と三畳紀の雲母を多く含む頁岩からなり、沈泥岩や雲母砂岩、礫岩を含んでいる。また、そのうえのプラウィハーン地層とプーバーン地層は、砂岩、礫岩、雲母頁岩、沈泥岩からなる岩層である。そして、岩塩層は200m以上の厚さがあり、コーク・クシアット地層のうえに重畳し、両地層は明確に分離している。この岩塩層は、サコンナコン盆地やコーラート盆地の中央部では、白っぽい赤色から赤色の混じった茶色の、砂岩・砂質頁岩・シルト(砂と粘土の中間の粒径の岩砕粒子)として分布し、コーク・クシアット地層と比べて脆い岩層である。さらに、この岩塩層には、1.5~15mの厚さの、薄いレンズ状をした塩、石膏、無水物の層が分布しており、のちにみるシンク・フォールの発生原因となる。そして、これら5層に重畳した中生代の堆積岩のうえに、新生代から現代にかけて堆積した沖積土が覆うことになる。

こうして、コーラート高原は、中生代の5層の堆積岩によって構成され、東部と南部が急な崖をなすケスタ(cuestas)状の傾斜台地として隆起したものである。

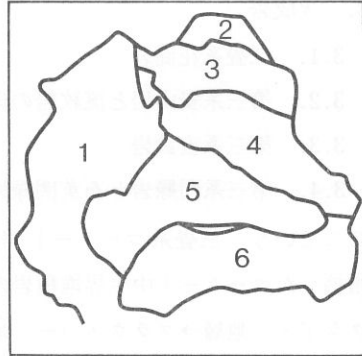
(2) もっとも、これらの各地層は地域によって堆積のあり方が異なるため、各地域のベッド・ロックが異なる。つまり、コーラート中生界堆積岩は5層の重畳した層群ではあるが、ある地域では最上層の岩塩層ではなく、第四層のコーク・クシアット層や第二、第三層の堆積岩層が露出してベッド・ロックをな

している（図2—4を参照）。そこで、東北タイを地勢により細区分し、各地域の地質的な特徴について詳論してみよう。図2—5は東北タイの地勢区分を示したものであり、地質や水文など、東北タイの自然条件を理解するのに便利である²²⁾。

まず、「①西部高地区域」をみれば、この区域は主にペッチャブーン山脈によって形成されている。ペッチャブーン山脈は、地質学的には三つの岩石層の混成的な構成からなる山地地域である。北のメコン川から南のサラブリー県にかけて南北に走る、この山脈の脊梁は、古生代・二畳紀のラーチャブリ石灰岩層に属する。この岩層は頁岩・砂岩・礫岩・火成凝灰岩と混成した、塊状の石灰岩層より構成される。そして、これらの石灰岩層と二畳紀層に並行して、

中生代のプークラドゥン地層が同じく南北に伸びている。プークラドゥン地層は、ジュラ紀と三畳紀の雲母を多く含む頁岩からなる地層であり、図2—4では「ジュラ紀・三畳紀堆積岩」として図示されている。さらに、ペッチャブーン山脈のもう一つの特徴は、火成岩が至る所で見られることである。つまり、

図2—5 東北タイの地勢区分



1. 西部高地区域
2. 北部高地区域
3. サコンナコン盆地
4. 中部高地区域
5. コーラート盆地
6. 南部丘陵地域

(出所) Krom Phatthana Thidin *Phaen Kan Chai Thidin Phak Tawan-ook-chieng-nua*

〔土地改良局「東北タイの土地利用計画」〕1984. p.11.

22) 以下の地勢と地質については、*Phaen Kan Chai Thidin. Tawan-ook-chieng-nua. Krom Phatthana Thidin. 1984. 〔「東北タイの土地利用計画」土地改良局〕 pp.9—11. および, Wolf Donner. The Five Faces of Thailand: An Economic Geography. University of Queensland Press, 1978. pp.549—555. を参照。*

北部のルーイ県では斑岩・花崗岩・玄武岩が、またベッチャブーン県とロップリー県の間では斑岩・凝灰岩が、そしてロップリー県の東北では玄武岩がそれぞれ広く堆積している。なかでも、ベッチャブーン山脈とパノム・ドン・ラック山脈とがぶつかるサンカムペーン山脈の地域、とくにカオヤイ国立公園の地域は、巨大な斑岩の塊の上に立地しているのである。

次に、「⑥南部丘陵地域」には、カンボジアと東北タイとの国境をなすパノム・ドン・ラック山脈が、西のチョーン・ラーペートから東のチョーン・ボックまで、おおよそ 300km にわたって東西に伸びている。この平坦な山脈は、北側は緩やかなスロープをなしているのに対して、南側は切り立った崖が続いているのが特徴である。この山脈は、砂岩・礫岩・雲母頁岩などから構成される、中生代のプーパーン地層とプラウィハーン地層からなるが、北側のスロープの高原地域はコーク・クルアット地層がベット・ロックとなっている。そして、ナコンラーチャシーマー県の南からウボンラーチャターニー県の南に至る、このコーク・クルアット地層の基盤のうえに、少なくとも七つの玄武岩の山が点在している(図2-4参照)。たとえば、ブリーラム県のドン・チャンヤイ(293m)、ドン・チャンノーイ(290m)などがそれである。

「④中部高地区域」はプーパーン山脈から構成される高地地域である。プーパーン山脈はウドンターニー県の南東部地域からムクダーハーンの南東、ケームマラートでメコン河の川幅を狭めながらラオスの東に入る山脈であり、パノム・ドン・ラック山脈と同様、プーパーン地層よりなる。この山脈は、低い沖積平野から衝立のようなかたちで直立しているが、山頂部は平坦である。また、多くの河川がこの山脈を深く切り込み、侵蝕によって山の景観が形づくられている。

「③サコンナコン盆地」と「⑤コーラート盆地」は、それぞれ4.3万km²と13.7万km²の平野部で、いずれも地下に岩塩層が横たわっている。サコンナコン盆地の川の大部分はノーンハーン湖に注ぎ、さらにナム・カーム川によってメコン河に流れる。一方、コーラート盆地ではムーン川とチー川の大河が貫流し、それぞれ8.2万km²と5.5万km²の分水界をもち、第四紀以降の沖積土を

堆積している。ここで重要なことは、この両地域にマハーサーラカム地層が横たわり、のちにみるように塩害発生の中心地域となっているということである。

(3) 東北タイの土壤は劣悪で、しばしば作物の栽培に適さないが、それは母材となる三疊系コーラート岩層が砂岩、頁岩、沈泥岩のような元来栄養分の乏しい岩石から構成されていることに由来する。

東北タイの土壤の一般的特質²³⁾は、①レンズ状の砂質粘土が一定の深さにしばしばみられるが、全体的にはほとんどが砂土であること、また②ラテライト・ノジュール（団塊）が多くの土壤統に共通してみられ、それらは、密度は高いが固くならない特徴をもっていること、③表土は粒子の細かい砂質ローム土壤が一般的であり、深くなるにつれて粘土の含有量が増すこと、などである。さらに、④土壤の多くは珪土（silica）からなり、有機物の含有量はほとんど1%を超えず、しばしば弱酸性である。⑤これらの土壤は温帯の沈泥ローム土壤と比べて、栄養物が低レベルにとどまるが、それに代わってカルシウムに対してマグネシウムの比率が高く、またカリウムに対してナトリウムの比率が高い。そして、⑥地下水面はしばしば地表に近く、多くの場合、乾季でも2m以下にはならない。しかし、土壤の保水能力が低いため、表土中の利用可能な土壤水分は通常4～10%だといわれている。以上が東北タイの土壤の一般的な特徴である。つづいて主要な土壤グループを列挙し、その地理的分布について整理してみよう²⁴⁾。

①沖積土壤（Alluvial soil）：この土壤は、カルシウム、マグネシウム、カ

23) H. F. Massey. *Soil Research needed for North-East Thailand*. Paper presented at the North-East Soil Conference, Tha Phra. Khon Kaen. 1969. p.3.

24) 以下の土壤については、Phaenmaebot, Nganwijai Kan Anurak Din lae Nam. Kong Anurak Din lae Nam. 1987. 『マスター・プラン、土壤と水についての研究』土壤・水資源保全部 pp. 94—101. および、Somnuk Nonthapund, *Landscape Feature and Major Great Soil Groups in the North-East of Thailand*. Paper submitted at the First ASEAN Soil Conference, 1969, pp. 6—9. F. R. Moormann et al., *Kingdom of Thailand, General Soil Map*. Bangkok, 1967. を参照。

リウムを含有し、稲作にとって適度の肥沃度をもっている。しかし、リン、有機物、窒素の含有度は低い。酸性度は中から小であるが、沼沢地域では高めである。また、この土壌は、低地では排水の悪さが特徴である。こうした沖積土壌は、ムーン川やチー川の洪涵地や、ノンカーイ県やナコンパノム県のメコン河沿いの地域に堆積している。

②低位腐食グライ土 (Low humic gleys) : この土壌は、しばしばラテライトのシートや結核 (concretion) を含み、多くの場合、河川流域の下層の集積層にみられる。土壌特性として、有機物・リン・窒素の含有率の低さ、カルシウム・マグネシウムの含有率の中ないし強、酸性度の中ないし強、そして排水の悪さ、が挙げられる。この土壌は、コーラート高原の広い地域に分布しているが、地下には岩塩層が堆積しているため、この腐食グライ土と塩分を含む土壌とが混ざり合い、稲作に被害を与える危険性がある。

③灰色ポドゾル性土 (Grey podzolic soils) : この土壌は、ミネラルに乏しく石英の含有が高いが、有機物は他の土壌と比べて高い。ただし、成分が分離する傾向があり、粘土が流れて粗い砂質の表土が広範囲に広がる。また、土壌体 (A層とB層全体の総称) のかなり深いところにラテライトの盤層 (Pan) がみられることもある。この土壌は、プーパーン山脈や、タノム・ドン・ラック山脈、あるいはベッチャブーン山脈の裾野地域に典型的に分布している。

④赤黄色ポドゾル性土 (Red-yellow podzolic soils) : 土壌特性は、有機物の含有が低くカルシウムとリンが欠如していることである。この土壌の酸性度は表層では中度、下層土では強度、である。また、ラテライトの凝固をふくみ、エロージョンを引き起こしやすいので、耕作に利用されることは少ない。赤黄色ポドゾル性土は、プーパーン山脈やベッチャブーン山脈、タノム・ドン・ラック山脈など、山岳土壌を構成するが、サコンナコン 盆地 にも 顕著にみられる。

⑤赤黄ラテライト土 (Red-yellow latosols) : この土壌は、カルシウム・マグネシウム・カリウム・リン・有機物の含有が低く、水不足と相乗して土地生産性の低さの原因となる。主に、ケナフや棉などの高地畑作物の栽培に利用さ

れている。赤黄ラテライト土は広範囲に散らばっているが、面積としては大きくない。

以上、東北タイの地質と土壌について整理してみた。ここで確認したことを踏まえて、次に、塩害の発生メカニズムについて考えてみよう。

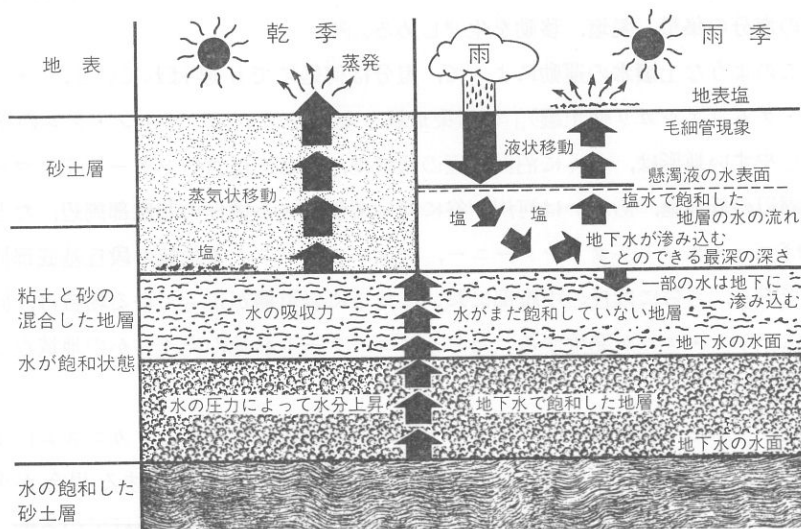
2.2. 塩害の発生メカニズム

(1) すでに前項において図2-4の地質図によって確認したように、サコンナコン盆地の中央部からコーラート盆地にかけて、岩塩を大量に含むマハーサーラカム地層が南北に走っている。この地層そのものは地表の奥深くに潜在するため、水の吸引力だけではその塩分が地表に染み出るとはまずない、といわれている。しかし、この地域の地下3~5mには、塩分を多量に含む砂岩や頁岩が岩塩層のう上に重畳し、広範囲に分布している。それゆえ、土壌中の水の運動によって塩分が溶解し、容易に移動を繰り返すことになる。土壌水の運動には液状移動と水蒸気移動の二つがあり、乾季と雨季では運動形態を異にする。そこで、これを図2-6によって解説してみよう²⁵⁾。

まず、雨季の塩害発生メカニズムから観察してみる。雨季の土壌水の運動は液状移動の形態をとる。雨季のスコールが地表に白くこびりついた塩塊を溶解し、乾いた土壌中に塩水として浸潤させる。浸潤した塩水はまた、地下水面近くの飽和層から上部の不飽和層に染み出た塩水と不透水層の水面付近で合流する。今度は逆に、太陽の放射熱によって表層が乾くことにより、合流した塩水は下層から上層へ逆の浸潤、つまり毛管上昇を引き起こす。水の分子の凝集力に起因する表面張力や液体と管壁との間に働く付着力が作用して、いわゆる土壌の毛管作用が働くわけである。しかも、雨季には地下水面が上昇するため水分の伝導性が増大し、毛管上昇を容易にする。こうして蒸発に伴う水の流れ

25) Eakasan Kham Nenam, *Din Khem Phak Tawan-ook-chieng-nua*. Krom Phatthana Thidin, [教宣パンフ『東北タイの塩害』土地改良局] 発行年不明。なお、土壌水の運動については、久馬一剛「土壌の物理性」久馬一剛ほか共著『新土壌学』朝倉書店、1984年、第VII章、などを参照。

図 2-6 塩害発生の自然メカニズム



(出張) Krom Phatthana Thidin, *Dinkhem Phak Tawan-ook-chieng-nua*
 [土地改良局「東北タイの塩害」(パンフレット)] (発行年不明)

は活発となり、水に運ばれて塩分も地表に上昇し塩となって白くこびりつく。

これに対して、乾季の土壤水の運動は水蒸気移動の形態をとる。乾季には地下水位がやや下がるため不飽和層の部分が増大し、水の伝導性が低下する。しかも、東北タイの表層土は毛管孔隙の乏しい砂土であるため、毛管連絡が容易に切断され土壤水の毛管移動が困難となる。この結果、液体としての水の移動は減退し、水蒸気として移動することになる。こうして、飽和層から水の圧力によって上昇し不透水層の表面に蓄積された塩分は、水蒸気移動に運ばれて上昇=蒸発し、地表一面に塩となってこびりつく。

なお、水蒸気移動の場合、温度勾配の影響が大きいといわれている。「上層部では土中の最大温度勾配は、昼間上向きに生ずるため、熱による水分移動は土の上層から下向きに起こる。蒸気態で下降したものは下層で凝縮 (condensation) し液相を増加させる。下層での液相増加は含水量勾配を増大させ、液状水が再び低含水量の上層へ移動する。夜間は温度勾配が逆転し、熱による

水分移動も上向きに起こる。このような水分のサーキュレーションは土壤溶液中の塩分の集積、脱塩、移動を生ぜしめる。]²⁶⁾

このような土壤水の運動によって、塩分は何処にでも運ばれていき、「ディン・ケム（アルカリ性土壤）」の汚染地域を拡大していく。ディン・ケムの発生しやすい地形は、とくに沼沢周辺の低湿地、たとえばコーンケーンやピマール周辺の低湿地、あるいは河川や谷に向かって傾斜する段丘の基底部周辺、たとえばローイエット、ウドンターニー、クラール・ローンハイ地域の段丘基底部周辺であり、さらに段丘の中腹部において地下に岩塩層が走っている場合は、同様にディン・ケムが発生する。たとえばコーラート盆地のいくつかの地域などである²⁷⁾。

(2) しかし、塩害は、このような土壤水の運動という自然のメカニズムによって発生するだけではなく、むしろ人為的な要因によって拡大する場合が多い。アルニー・ユワニヨムは、人為的要因として次の4点を挙げている²⁸⁾。つまり、①製塩処理後の廃水の垂れ流し、②貯水池や灌漑水路の造成による塩害の発生・拡大、③森林の伐採による地下塩水の漏出、④塩分を含む灌漑水の不注意な利用による農地汚染、である。これらのうち、まず森林破壊と塩害発生の問題からみていこう。

森林に入射した太陽の純放射エネルギーのうちその70%以上（生育期間中では90%以上）は蒸散のための熱源として利用される。蒸散作用とは、いうまでもなく植物が水を葉面の気孔から大気中へ水蒸気として拡散する現象を意味する。もし、同じ気候条件のもとであるならば、森林からの蒸発散量が最も大きい。ある資料によれば、森林の蒸発散量が93に対して、牧草地のそれは87、畑地53～60、裸地40、とされている。ということは、森林を伐採し畑地に転換し

26) 土壤物理研究会編『土壤物理用語事典』養賢堂、1974年、65—66頁。

27) Phichai Wichaidit, “Kan Aan Iae Kan Chai Phaenthi Din Khem Phak Tawan-ook-chieng-nua.” [ピチャイ・W「東北タイの塩害地図の読み方と使い方」] in Somsri Arunin(ed.) *op. cit.*, pp. 80—83.

28) Aruni Yuwaniyom, “Din Khem Phak Tawan-ook-chieng-nua.” [アルニー・Y「東北タイの塩害」] in Somsri Arunin (ed.), *op. cit.*, pp. 75—79.

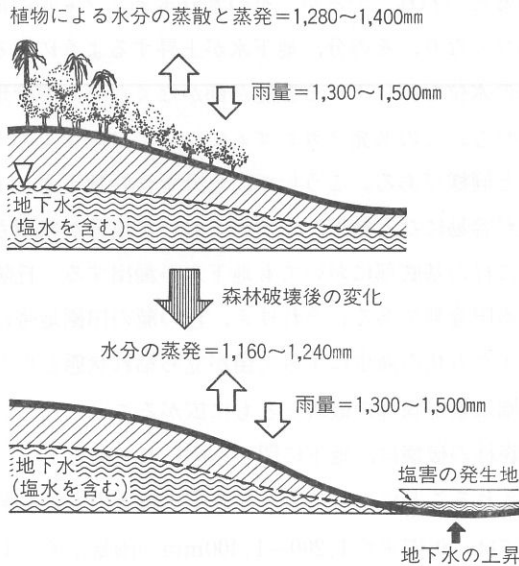
タイの森林破壊と生態系の攪乱 (III)

たり、あるいは裸地のまま放棄したりすると、その地域の蒸発散量は半分以下に減少することを意味する²⁹⁾。

東北タイの蒸発量について、10カ所の測候所のデータによれば、年間蒸発量はルーイ県の818.2mmからスリン県の1,324.9mmまで地域によって変動するが、平均蒸発量は1,053.4mmだとされている。なお、蒸発量の最大月は3月で、ナコンパノム105.4mm、スリン170.6mmであり、最小月は9月で平均50.0mmだという。

さて、図2-7は、森林破壊と塩害の発生メカニズムについて、土地改良局の解説を図解したものである。年間降雨量1,300~1,500mmに対して、森林による

図2-7 森林破壊と塩害の発生メカニズム



(出所) Krom Phatthana Thidin, *Dinkhem Phak Tawan-ook-chieng-nua*.

〔土地改良局「東北タイの塩害」(パンフレット)〕(発行年不明)

29) 吉良竜夫「森林と地球環境」只木・吉良編・前掲書、305頁。

蒸発散量は1,280~1,400mm, 森林破壊後の裸地の蒸発量は1,160~1,240mmとされている。同図の, 裸地からの蒸発量は森林からの蒸発散量のわずか10%の減でしかない。しかし, 上来からの説明によって明らかなように, 同図の, 森林破壊後の蒸発量の減少見積りはあまりにも小さい。降雨量に対して, 蒸散量はその2分の1, 蒸発量は4分の1, 地表流去量は残りの4分の1, という推計さえある。この推計を基準にすれば, 同図の裸地の蒸発量は325~375mmになる。あるいは, さきほどの地目別蒸発散比率, 93対40(森林:裸地)に従えば, 裸地の蒸発量は550~602mmとなるはずである。

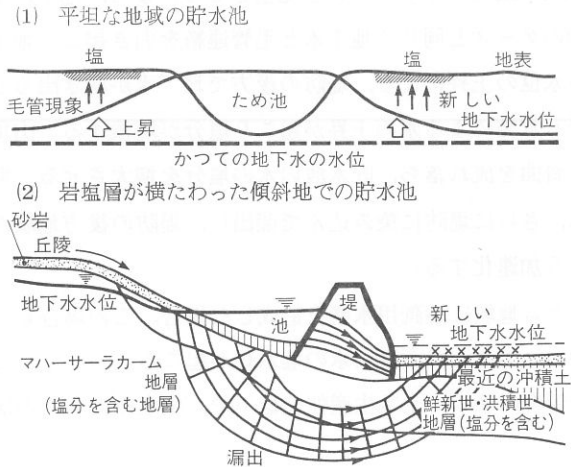
ともあれ, 森林の破壊による禿げ山化は, 森林植生の蒸散作用による地下水の消費を大幅に低下させることは間違いない。植物の根が土壌水を吸収する力は10気圧以上あるといわれているが, その水分ポテンシャルの消滅によって根による消費分がなくなり, その分, 地下水が上昇するようになる。つまり, 森林による地下水の水位を押し下げる機能が働かなくなり, 毛管現象等による表面蒸発が容易になる。この蒸発メカニズムについては, すでに土壌水の運動でみたメカニズムと同様である。こうして, 塩分を含む地下水が上昇し蒸発による上向きの移動が容易になる結果, 山頂部において塩分が集積される。それだけでなく, さらに丘の基底部においても地下水が漏出する。丘陵の基底部周辺は多くの場合, 水田適地である。それゆえ, 丘の麓の田園地帯において, 塩水の漏出とディン・ケム化の発生によって苗が立ち枯れ状態となり, 稲穂の疏らな荒涼とした田園風景が森林の破壊とともに広がることになる。このように, 農村住民による森林の破壊は, 地下に閉じ込められていたディン・ケムをむしろ人為的に表出されることによって自らの農業生産そのものを解体していく。

(3) 東北タイでは, 年間平均1,200~1,400mmの雨量があるものの, 年間を通じてコンスタントな降雨があるわけではない。そのうえ, この地域の土壌はすでに指摘したように保水能力に乏しい。このような事情のゆえに, 乾季が少しでもながびけば深刻な水不足を引き起こすことは, 毎年経験ずみの事柄である。したがって, 政府の東北タイの開発政策の柱は, 飲用と生活用の水源を確保することである。陸軍による「イサーン・キョ(東北部の緑化)」計画も,

結局は小規模な井戸掘り事業である。しかし、これまでに開鑿された水源の多くは、最近の水質調査によれば、塩水による水質問題と、貯水池周辺の塩害汚染問題に直面している。土地改良局のタウィーサック・リウシーウィライは、貯水池造成によって塩害発生が近年急速に広がっていることを警告しながら、なぜそのような事態が生れるのかについて解説している³⁰⁾。

①平坦な地域に貯水池を造成した場合。図2-8(1)のように、地下水の水位が浅い地域に貯水池を造成すると、貯水池の水が地下に漏出し地下水と毛管連絡を引き起こす。この毛管連絡によって塩分を含む地下水が引き上げられ、地

図2-8 貯水池の掘さくと塩害の発生



(出所) Thawisak Liwsiwilai, "Aang keb Nam kab Kan Phrae krajai Dinkhem." in Somsri Arunin(ed), *Dinkhem, Phak Tawan-ook-chieng-nua*. Krom Phatthana Thidin, 1988

〔タウィーサック「ため池と塩害の拡大」ソムシー 編『東北タイの塩害』土地改良局, pp.85~86.〕

30) Thawisak Liwsiwilai, "Aang keb Nam kab Kan Phraekrajai Din khem" [タウィーサック・L「貯水池と塩害の拡散」] in Somsri Arunin (ed). *op. cit.*, pp.84-90.

表に接近する。そのあとは、蒸発による水の移動が発生し、液状移動か水蒸気移動かにより地表に塩水が汲み上げられる。こうして貯水池の周辺に白く塩がこびりつき、塩埃が巻き上るようになる。

②岩塩層が横たわっている傾斜地に貯水池を造成した場合。この形の貯水池では、図2—8(2)のように、ほとんどが堤防かコンクリートのダムを造って貯水するか、さもなければ自然の水流を堰き止めて貯水するか、の方式をとる。この方式による貯水池では、以下のようなメカニズムで塩害が発生する。まず貯水池の水が地下に漏出し、マハーサーラカム地層に到達して塩分の溶解を加速化させる。その塩分を溶解した地下水は重力によって傾斜地を下り、堤防の後方周辺に染み出てディン・ケムを発生させる。また、地下に漏出した貯水池の水は、①のケースと同じく地下水と毛管連絡を引き起こし地下水位を引き上げる。地下水位の上昇により、堤防の後方で地下水が湧き出るとともに、丘陵の山頂部でも蒸発による水の上昇が起こり塩分が堆積する。山頂部の塩分は雨水等により斜面を流れ落ち、貯水池の水の塩分を増大させる。塩水化された貯水池の水は、さらに堤防に染み込んで漏出し、堤防の後方地域のディン・ケム化をいっそう加速化する。

③ディン・ケム地域に灌漑用水路を造成した場合。この場合も上で述べてきたのと同様のメカニズムで灌漑用水の塩水化が起こる。そして、この用水が灌漑する田園一帯を汚染し、土地生産性の低下や、生産そのものの壊滅を引き起こす。

以上、貯水池の造成がディン・ケムを引き起こすメカニズムを瞥見してきたが、最後にディン・ケム拡大の要因を整理すれば、次のようである。①貯水池周辺の岩層・土壌・地下水の塩分含有量、②塩分を含有する岩層・土壌・地下水の深さ、③土壌の物理的構造（土質・水の浸透率・排水率）、④貯水池周辺の地形、⑤貯水池の容積と深さ、⑥貯水池の年数、⑦貯水池の漏水状況（貯水池の保水効率）、⑧貯水池周辺の土地利用。これらの要因が複合するとき、塩害汚染が拡大する。

(4) 東北タイにおける塩づくりには長い歴史があり、農民にとって重要な職

業にさえなっている。農民による製塩は当初、いわゆる「煮海方式」によっていた。その方式は、まず表土にこびりついた塩を削り取り木製の容器に集める→水によってそれを溶解し濾過する→濾過された塩水を釜で受け煮沸し塩を取り出す、という素朴なやり方であった。この煮海方式による製塩が拡大してくると、燃料の薪採取のために森林破壊が進行し、ついには薪の入手さえ難しくなってきた。このようななかで、東北タイの製塩方法に転機をもたらしたのが、1969年の工業省地下資源局のボーリング調査であった。地下資源局は、地下資源と、飲用・生活用の水資源の開発調査のために、マハーサーラカム県ポンプア郡の郡役所の裏手で、深さ27mのボーリングを行なった。調査の結果、その井戸の地下水は塩度50~60mmho/cmの塩水であり、天日によっても製塩できる濃度であることが判明した。この情報が農民達の間には伝わり、天日製塩(塩田)方式が普及して、一つの産業にまでなった³¹⁾。

塩田方式の製塩は、現在、主に次の5カ所で見られる。①マハーサーラカム県ポンプア郡ノンポー村(現在、禁止)、②サコンナコン県バーンムアン郡、③ウドンターニー県バーンドゥン郡、④ナコンラーチャシーマー県ピマーイ郡、⑤ナコンラーチャシーマー県カームタレーソー郡、である。サコンナコン県のバーンムアン郡ではすでに1963年より塩田方式の製塩が始まり、井戸の深さは30~190mである。また、同県のバーンラーイ郡では依然として煮海方式もみられるが、次第に塩田方式が普及してきている。ウドンターニー郡のバーンドゥン郡の製塩は1963年より始まったが、当初は家庭用であった。しかし、1972~80年の間に造成した井戸の多くが塩水で、しかも純度の高い塩分を含んでいることから、煮海方式での製造業が急速に普及した。そして、1981年に他県の製塩業者が大規模な資本投下を行ない、製塩業が急増した。しかし、83年以降、塩の価格が下落し、煮海方式では製塩コストが補填できなくなり、大規模製塩業者は塩田方式に転換するようになった。煮沸用燃料の薪価格が割高になってきたためである。最近の4年間で、煮海用の燃料として森林が20万

31) Phanni Rungsaengjan, "Kan tham Klua kab Kan Phraekrajai Din Khem."

[パンニー・R「製塩と塩害の拡散」] in Somsri Arunin (ed.), *op. cit.*, pp.91-99.

ライも破壊されたという。現在では、燃料の枯渇により塩田方式が主流になってきている。

しかし、塩田方式による製塩は塩害の被害を急速に拡大することになる。①塩田で使用した水は、使用後排水しなければならない。また、降雨によっても塩田の水が溢れ出し、周辺の農地に流入することになる。塩田に由来するディン・ケム地域では、農地の土地生産性の低下とともに、農作物への直接的な被害が増大している。②塩水は農地に流入するだけでなく、地域住民の飲料用の水源にも流入し、飲料水にこと欠く地域もみられる。③塩田地域では、さきに見たように貯水池の造成が塩害を拡大し、農業用水の塩水化と不足化が生じるようになる。

図2-9 東北タイの Sinkhole

(A) 東北タイにおける Sinkhole の分布図

(B) プー・ウィエンの Sinkhole 形成の概念図



(1)砂・塩の沈殿



(2)褶曲



(3)風化



(4)侵食



(出所) Hisao Furukawa “Kan Lalai khong Chan Klua to Laksana thang Thorani Santhan nai Phak Tawan-ook-chieng-nua.”

〔古川「東北タイにおける岩塩層の溶解と地勢への影響」〕 (タイ文)

Somsi (ed) *Dinkhem, Phak Tawan-ook-chieng-nua*. Krom Phatthana Thidin, 1988. pp. 107~108.

そればかりか、④地下水の汲み上げによる地表の沈下が至る所で発生している³²⁾。マハーサーラカーム地層をはじめ、コーラート中世界堆積岩層にはレンズ状をした岩塩・石膏・石灰岩がしばしば分布していることはすでに指摘した。このようなソルト・レンズは容易に水に溶解し地中に空洞をつくる結果、その上の地表が沈下し、大きな凹地(sink hole)をつくる。シンク・ホールの直径は20mから200mまで様々な大きさがある。図2-9は、東北タイのシンク・ホールの地域的分布と、プー・ウィェンにおけるその発生の概念図を示したものである。とくに、コーンケーンを中心にその南のマンチャキリにかけての地域と、その北のプー・カオにかけての地域、さらにプーパーン山脈沿いのサコンナコン盆地一帯に大小様々なシンク・ホールが並んでいる。このような凹地は農業にとって大きな障害となることはいうまでもない。

化学・技術・エネルギー省の環境委員会事務局は、以上のような被害の拡大に対処して、被害のとくに大きいマハーサーラカーム県のポンプア郡やワーピーパトナム郡での製塩を禁止する措置を採っているが、製塩によって生じた環境破壊を防止する法的対策が欠如しているのが現状である。

以上、ディン・ケム発生の四つのパターンを観察してきた。ここで明らかなのは、森林の破壊が土壌水の運動に攪乱をもたらし、地下に閉じ込められていた災害をいわば故意に掘り上げることになった、ということである。

2.3. 塩害地域と稲作被害

(1) 土地改良局は、1982~83年に東北タイの各県の塩害地図(25万分の1)を作成した。その際、ディン・ケムの度合と地域をどのような基準で分類するかが問題となった。通常、アルカリ性土壌の電気伝導度(Electrical condu-

32) Hisao Furukawa, "Kan Lalai khong Chan Klua to Laksana thang Thorani Santhan nai Phak Tawan-ook-chieng-nua." [古川「東北タイにおける岩塩層の溶解と地勢への影響」] in Somsri Arunin (ed.). *op. cit.*, pp. 100-112. H. Furukawa & Pichai Wichaidit, "Salt and Sinkhole—Corrosion as a Principal Factor Governing Topography and Mass Movement in Northeast Thailand" in *Southeast Asian Studies*, Vol. 27, No. 1, 1989, pp. 3-34.

ctivity) を基準として〈塩度〉を測定し、mmho/cm の単位で表示する。しかし、塩度は季節によって変化するので、塩度による分類には困難が付きまとう。とくに、東北タイのような砂質土の地域では粘土地域と比べてその変化が激しい。そこで、土地改良局は、塩度だけでなく、表土にこびりついた塩塊の大きさや、その地域の地下水の水質と深さ、その地層が塩分を含んでいるかどうか、等を考慮して、ディン・ケムの度合とその分布地域を分類した。以下、ディン・ケムの分類について整理しておこう³³⁾。

①「強度塩害地域」とは、塩度 16mmho/cm 以上、あるいは塩がその地域面積の50%を覆っている地域である。この地域はほとんどが低湿地であり、大部分は荒蕪地として放置されている。植生は、耐塩性のあるナムゼーン、ナムブンドー、ナムブロムなど、刺のある灌木がわずかに生えているだけである。この強度塩害地域では、塩分を多量に含んだ地下水が非常に浅いところにあり、乾季で地表下1～1.5m、雨季ではわずか50cmの深さとなる。このような深さでは、地下水は毛管作用により容易に上昇し、地面一帯を雪が被ったように白くさせる。ピチャイ・ウィチャイディットの推計では、強度塩害地域は約150万ライに上るが、土地改良局の地図では21.1万ライとされている。両者の推計値が大きく異なるが、これは、地表での塩の残留が観察する時期により大きく変動するためであり、塩害面積の確定の難しさを示すものといえよう。

②「中度塩害地域」とは、塩度 8～16mmho/cm、あるいは塩の地域面積比率が10～50%の地域である。この地域の多くは沖積土壌の低湿地にあり、塩が丘の周縁部に輪をなして列状に発生している。とくに、丘の山頂部に立木がないことが多く、雨水の吸収と地下水位を抑える働きをする根がないことから、保水バランスが崩れている。このため、雨水は塩分を含む下層の地層にまで浸潤し、塩分を溶解して丘の周縁部に漏出するのである。この中度塩害地域では

33) Phichai Wichaidi "Kan Aan lae Kan Chai Phaenthi Din Khem Phak Tawan-ook-chieng-nua." [ピチャイ・ウィ「東北タイの塩害地図の読み方と使い方」] in Somsri Arunin (ed.), *op. cit.*, pp. 80—83.

地下水の水位は乾季で 2m, 雨季で80cm~1m である。塩害の大きさは①より小さいので、稲作が可能であるが、収量はかなり低い。塩害の被害を受けた田圃では、稲の成長が一定ではなく、矮小で葉先がカールしている。また枯死した稲の小群が、とくに通年より雨の少ない年にはよくみられる。立木として見られるのは、現地名でサケーと呼ばれるシクシン科 (Combretaceae) シカクコンプレツムなどである。中度塩害地域面積は、ピチャイの推計で370万ライ、土地改良局の地図では138.8万ライである。

③「低度塩害地域」とは、塩度 4~8mmho/cm, あるいは塩の地域面積比率 1~10%であり、塩がこびりついている様子はあまり見られない。しかし、池や井戸などの水源池の水がまだ塩辛い。この低度塩害地域では地下水は地表 2 m以下にあり、土壌は砂質で水の浸透はかなり良い地域である。ほとんどが水田として利用されており、立木はフタバガキ類 (dipterocarps) のマイ・ヒエン、マイ・クラート、サバーン、サケーが見られる。低度塩害地域の面積は、ピチャイで1260万ライ、土地改良局で398.7万ライである。

④ディン・ケムの電位はあるが低い地域。この地域では、地表にこびりついた塩をみることはない。たとえあったとしても 1%以下である。また、この地域の土壌はまだアルカリ性土壌ではないが、地下に塩分を含む砂岩や頁岩が堆積しているため地下水は塩分を少し含む。したがって、丘陵の森林破壊や、地下水の汲み上げによる塩田づくり、塩田の廃水の放棄、貯水池や灌漑用水路の造成など、不注意な土地利用や水利用をすれば、この地域でも塩害が発生する。

⑤岩塩層を基盤とする高地。この地域では、地表の塩は全くみられず、地下水は 8 m以下と深い。丘陵地域では、一般にキャッサバ、ケナフ、トウモロコシなどが栽培されている。しかし、地下にはマハーサーラカム地層が走っており、森林を破壊すれば水のバランスが崩れ、ディン・ケムが発生する。

⑥塩分のない地域。表土も地下水も塩分を含まず、地下に岩塩層や塩分を含む地層が走っていない地域である。たとえば、ムーン川やチー川の大きな沖積土の低湿地地域や、マハーサーラカム地層以外の地層、つまりプラウィハー

ン地層やプーバーン地層の地域である。

(2) さて、以上のディン・ケムの分類のうち、強度・中度・低度の塩害地域を塩害汚染地域として一括し、その分布を見れば、図2-10のようである。同図は、土地改良局の各県別の塩害地図(25万分の1)を集成し、東北タイ全体を鳥瞰したものである。同図に、前掲の図2-5の地勢図を重ね合わせて観察してみれば、東北タイの塩害はとくに二地域に集中していることが分かる。

①塩害が最も集中している地域は「⑤コーラート盆地」の地域であり、とくにナコンラーチャシーマー県の北部が中心である。そして、ナコンラーチャシーマーから東にむけて、ムーン川とチー川にそって、マハーサーラカム県、ローイエット県へと拡大している。これらの地域のディン・ケムの大部分は、

図2-10 東北タイの塩害発生地域



(出所) Krom Phatthana Thidin, *Warasan. Phatthana Thidin* [土地改良局『土地改良』誌] Vol. 26, No. 283, 1988, p. 37

(注) 「強度」塩害地域211,310ライ, 「中度」塩害地域1,387,925ライ, 「低度」塩害地域3,987,344ライ, の三地域を図示したもの。

段丘と低湿地との境目,あるいは段丘の周縁部において発生している。②もう一つの塩害発生地域は「⑧サコンナコン盆地」であり、細かくは、ウドンターニーとノンカーイの2県を中心とする東北タイ北部の低湿地と,サコンナコン盆地の周縁部の地域である。前者の2県の地域では低湿地と北部の台地との接点地域で発生し,後者の盆地ではプーバーン山脈寄りの周縁部に集中している。

こうした状況を統計数字において把握したものが,表2-2である。まず,①特徴的な点は,「塩害地域」面積が

(単位: ライ, %)

表2-2 東北部 (14県) における塩害発生地域

Agro-Economy Zone	強度塩害地域		中度塩害地域		低度塩害地域		塩害の恐れある低地地域		地下に岩塩層のある台地地域		塩害なし地域	
	(b)	(b) \ (a)	(c)	(c) / (a)	(d)	(d) / (a)	(e)	(e) / (a)	(f)	(f) / (a)	(g)	(g) / (a)
Zone 1	5,814	0.02	137,785	0.52	467,129	1.76	3,437,417	12.98	8,789,842	33.18	9,926,267	37.48
1 Nakhon Phanom	2,736	0.04	489	0.01	1,759	0.03	480,904	7.81	1,850,094	30.04	2,829,928	45.96
2 Sakon Nakhon	1,520	0.03	25,696	0.43	170,800	2.84	1,024,562	17.07	2,942,739	49.02	1,080,847	18.00
3 Nong Khai	0	—	432	0.01	13,344	0.29	922,228	20.13	1,925,096	42.01	1,394,598	30.43
4 Udon Thani	1,558	0.02	111,168	1.14	281,226	2.89	1,009,723	10.36	2,071,913	21.26	4,620,894	47.43
Zone 2	1,225	0.01	86,175	0.60	669,456	4.64	1,596,788	11.08	1,536,782	10.66	8,806,143	61.08
7 Yasothon	0	—	11,589	0.44	147,825	5.68	591,690	22.75	456,579	17.55	1,342,305	51.61
8 Ubon Ratchathani	1,225	0.01	74,586	0.63	521,631	4.41	1,005,098	8.51	1,080,203	9.14	7,463,838	63.17
Zone 3	20,279	0.13	388,490	2.54	1,312,761	8.58	4,875,647	31.87	2,655,709	17.36	4,501,099	29.42
10 Khon kaen	15,649	0.23	53,069	0.78	659,282	9.69	1,035,530	15.22	982,461	14.44	3,125,640	45.94
11 Maha Sarakham	4,630	0.14	79,044	2.39	348,920	10.55	1,443,638	43.65	824,841	24.94	113,441	3.43
12 Roi Et	0	—	256,377	4.94	304,559	5.87	2,396,479	46.20	848,407	16.36	1,262,018	24.33
Zone 4	0	—	175,897	1.02	330,296	1.91	3,583,408	20.71	679,399	3.93	11,267,707	65.12
13 Buri Ram	0	—	79,743	1.19	144,076	2.15	1,037,342	15.48	402,071	6.00	4,718,969	70.42
14 Si Sa Ket	0	—	14,913	0.27	156,262	2.83	944,103	17.09	167,146	3.02	3,537,760	63.03
15 Surin	0	—	81,241	1.60	29,958	0.59	1,601,963	31.55	110,182	2.17	3,010,978	59.30
Zone 5	181,387	0.87	591,763	2.85	1,143,879	5.50	2,290,486	11.01	2,387,577	11.48	9,122,621	43.87
16 Chaiyaphum	7,188	0.09	0	—	42,328	0.53	686,833	8.60	659,679	8.26	3,668,965	45.94
17 Nakhon Ratchasima	174,199	1.36	591,763	4.62	1,101,551	8.60	1,603,653	12.52	1,727,898	13.49	5,453,956	42.58
計	208,705	0.22	1,380,110	1.46	3,923,521	4.16	15,783,746	16.74	16,049,309	17.02	43,624,137	46.26

(出所) 土地改良局土地調査部作成の地図 (25万分の1) より集計。Phaenhi Kan Phraekrajaai khong Dinshem [土地改良局『塩害分布地図』各県別]

(注) 1) 同表では、東北部の, Loei, Mukdahan, Kalasinの3県の数値が欠落している。

2) (a)は、各地区および各県の土地面積。表示を割愛した。

3) 「強度」とは16mmho/cm以上ないし塩塊が表土の50%以上覆っている地域。

「中度」とは8~16mmho/cmないし塩塊が表土の10~50%以上覆っている地域。

「低度」とは4~8mmho/cmないし塩塊が表土の1~10%以上覆っている地域。

190万ライに上るナコンラーチャシーマー県、「中度」ないし「低度」被害面積が大きいコーンケン、ローイエットの諸県、また「塩害の恐れのある低地地域」が県面積の40%を超すマハーサーラカームとローイエット、あるいは「岩塩層のある台地地域」が40%以上に上るサコンナコンとノンカーイ、そして「塩害なし地域」が30%を割る Zone 3 の諸県、などである。これらの諸点を組み合わせてみれば、ディン・ケムが激発している地域は、ナコンラーチャシーマーからローイエット、マハーサーラカームに至る地域の中央部と、ウドンターニーからサコンナコン、ナコンパノムに東西に伸びる北部地方の地域であることが再確認される。そこで、②この二つのディン・ケム地域をさきの図2—4の地質図に落してみれば、それは、マハーサーラカーム岩塩層のうえにのった地域、つまりマハーサーラカームとナコンラーチャシーマー北部のコーラート盆地中央部と、サコンナコン盆地周辺の北部の地域であることが明瞭である。また、二つの塩害地域は、さきに図1—5と図1—6によって分析したように森林が急激に破壊されていった地域、つまりウドンターニーからナコンラーチャシーマーにかけて南北に伸びる帯状の地域と、プーパーン山脈沿いの地域のうえに立地していることも、同様に明瞭である。ということは、ディン・ケムの発生地域は、東北タイの北東部と中央部に盤踞する岩塩層のうえの、森林が破壊されていった地域であり、それは、図2—7に図解したようなディン・ケムの発生メカニズムが、森林破壊の爪痕に沿って人為的に噴出した地域であったといえよう。

(3) 図2—10に図示された558.7万ライの塩害発生地域内の農業生産は、土地生産性の低下を含め、様々なかたちで塩害の被害を蒙っていることは間違いない³⁴⁾。しかし、どこからどこまでが塩害によるものか、の判定が難しいこともあり、農業生産の塩害による被害については資料が見当たらない。ここではとりあえず、塩害が最も集中しているナコンラーチャシーマー県の県農業事務

34) マーノップは、ディン・ケムの発生メカニズムとその防止策について展開している。Manop Tankhatemi, *Din Khem lae Kan Prab prung*. Krom Phatthana Thidin, [マーノップ・T『塩害と改善』土地改良局]・発行年不明。

局の資料を紹介しておこう。

表2-3がそれである。もっとも同表は塩害の被害だけを示したのではなく、早魃などの自然災害すべての被害面積と被害額を示したものである。同表によって、まず最初に気付くことは、1985年の被害面積が3.3%の割合であったのに対して、86年のそれは20.1%, 87年は14.4%であり、年によって被害

表2-3 自然災害による稲作被害(雨季作) 1985~87年
ナコンラーチャシーマー県

(被害額の単位: 100万バーツ)

郡(副郡)名	作付 面積 ライ	1985年		1986年		1987年		3年 間 被害 額 総 計
		被害面 積の割 合(%)	被害額 の見積 り	被害面 積の割 合(%)	被害額 の見積 り	被害面 積の割 合(%)	被害額 の見積 り	
1. Muang	93,714	2.86	4.6	0.45	4.9	7.01	8.7	18.2
2. Khong	133,431	1.91	2.3	39.89	50.2	1.49	1.7	54.2
3. Khonburi	61,726	—	—	0.08	0.1	0.53	0.4	0.5
4. Jakarat	111,323	3.75	3.8	15.59	19.8	6.04	8.3	31.9
5. Chumphuang	218,335	—	—	25.49	67.4	1.34	1.5	68.9
6. Dankhunhot	154,182	2.70	4.7	56.13	61.8	34.51	61.4	127.9
7. Nonthai	155,631	3.38	5.6	12.80	27.5	37.34	54.5	87.6
8. Buayai	209,493	4.06	4.5	47.72	106.4	—	—	110.9
9. Nonsung	239,728	10.31	21.5	16.40	30.9	24.41	72.5	124.9
10. Pakthongchai	179,369	—	—	7.45	15.9	—	—	15.9
11. Paakchong	12,266	—	—	—	—	7.65	1.9	1.9
12. Phimai	295,146	0.11	0.4	0.16	0.7	41.77	169.2	170.3
13. Sikhiu	55,486	—	—	—	—	15.41	17.8	17.8
14. Prathai	184,999	10.07	21.1	32.96	53.1	0.64	1.2	75.4
15. Huoithalaeng	121,962	7.89	—	5.12	50.6	7.39	10.4	61.0
16. Khamthaleso	15,881	0.94	0.1	—	—	25.68	8.5	8.6
17. Kamthalesaeng	75,439	—	—	2.81	1.1	1.13	1.4	2.5
18. Soengsang	35,291	—	—	—	—	2.01	0.8	0.8
19. Banluam	19,984	0.26	0.0	0.09	0.0	25.48	6.2	6.3
20. Kaengsanamng	53,942	—	—	59.01	36.7	13.13	10.2	46.9
計	2,427,328	3.33	68.7	20.08	527.1	14.38	436.6	1,032.4

(出所) Samnakgan Kaset Chanwat Nakhon Ratchasima, *Phaeng Phatthanakan Kaset pi 2532-2534, Chanwat Nakhon Ratchasima*. [ナコンラーチャシーマー県農業事務局『1989-91年農業開発計画・ナコンラーチャシーマー県』] p.31

面積の変動が激しいことである。しかも、被害面積が年によって激しく変動していることは、郡レベルにおいても共通している。たとえばビマーイ郡は85年と86年にはほとんど被害らしいものはなかったが、87年には40%もの農地が被害を蒙っている。このような特徴は、気象条件のサイクルによる旱魃と洪水が被害の大きな原因となっていることを物語るものである。しかし、それだけではない。この3年間に1億バーツ以上の大きな被害を受けた上位4県をみれば、気象条件の変動の影響を過敏に受け易い脆弱な生産基盤にある地域、つまり絶えず塩害による農業生産の攪乱を蒙っている地域だということが分かる。すなわち、塩田の被害をはじめディン・ケムの集中地域であるビマーイ郡を中心に、ノーンスーン郡とブアヤイ郡との3郡は隣接する地域であり、塩害被害の相対的に高い地域である。ダーンクントット郡はナコンラーチャシーマー県の西端に位置しているが、図2-10の塩害地図のなかにすっぽりとはまり込んでいる。したがって、これらの4郡は、塩害による不安定な生産基盤のうえに気象条件の影響を受け、大きな被害額を出しているとみるべきだろう。

ともあれ、森林破壊による生態系の攪乱、なかんづく土壌水の運動の攪乱は、東北タイの地下深くに眠っていた岩塩層を揺り起こし、ディン・ケムの被害地域を激増させ、農業生産と農村生活への悪影響を拡大してきたといえるだろう。

3. 土壌侵蝕の広域化と侵蝕被害

3.1. 土壌侵蝕の発生因子

(1) 熱帯モンスーン気候（ないしサバンナ気候）帯にある地域では深刻な土壌侵蝕が世界的に発生しているが、森林破壊が急速に進んでいるタイにおいても例外ではない。土壌侵蝕とは、降雨や風の営力によって土壌が地表から流亡ないしは飛散し、土地が荒廃する現象をいうが、熱帯モンスーン気候帯では水が営力となる〈水蝕〉が中心である。それは、熱帯モンスーン気候帯に特有な、降雨時間が短く降雨強度が大きいスコール状態の降雨が、土壌侵蝕の大き

な要因になっているからである。一般に、降雨による土壌侵蝕＝水蝕は、降雨条件や、土壌の性質、傾斜や斜面長などの地形、植生による被覆状況、土地利用などの諸要因が複合的に作用して起こる現象である。この水蝕による土壌流出量を予察する方法として、アメリカの農務省が開発した＜土壌侵蝕推定式 (USLE: Universal Soil Loss Equation)＞が知られている。その方程式は、 $A = RKLSCP$ で表示され、それぞれ次の因子で組み合わされている³⁵⁾。

A: 年間の平均土壌侵蝕量 (computed soil loss)

R: 降雨因子 (rainfall erosivity)

K: 土壌因子 (soil erodibility)

LS: 傾斜・傾斜長因子 (slope factor)

C: 作物因子 (vegetation cover factor)

P: 土壌管理因子 (erosion control practice factor)

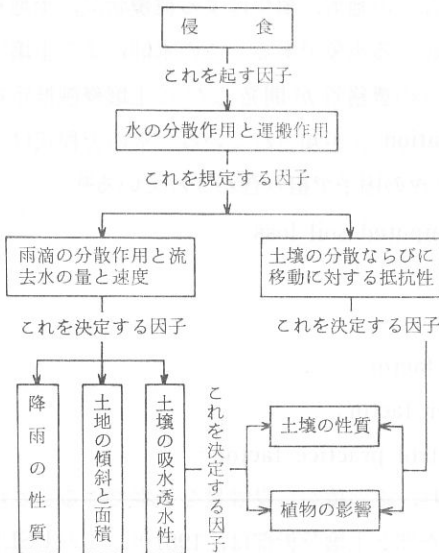
これらの因子はいずれも係数化され、その積から侵蝕量を予察できるとされている。タイの土地改良局の土壌調査部と土壌分析部は、1981年、このUSLEを利用し、各因数の係数を算出しつつ、タイ全土の土壌侵蝕量と侵蝕地図を作成した。この作業は『タイ国の土壌侵蝕』としてまとめられたが、「米国農務省の計算式に当てはめて機械的に求めたもので、今後実験によりその妥当性を証明する必要がある³⁶⁾」といわれている。このような未熟さを残すものだが、この国における初めての試みであり、その後の土壌・水資源保全部による侵蝕防護の研究にも援用されている³⁷⁾。したがって、以下では、土地改良局の『タイ国の土壌侵蝕』を利用して、この国の土壌侵蝕の実態を紹介しておくことに

35) 以下の土壌侵蝕の発生因子とその係数については、*Kan Chalang Phangthalai khong Din nai Prathet Thai*. Krom Phatthana Thidin, 『タイ国の土壌侵蝕』土地改良局] 1981. pp. 5—16. を参照。

36) 国際協力事業団『開発途上国畑作地帯における土壌保全に関する基礎調査 (ネパール・タイ) 報告書』1984年、92頁。なお、この報告書は、本項と同じく、同上 (35) の文献を利用しており、本項で提示するデータと一部重複するものもある。

37) *Kan Pongkan Kan Chalang Phangthalai khong Din*. Krom Phatthana Thidin, 『土壌侵蝕の防止』土地改良局] 1984/85. は、侵蝕防止の方法や栽培方法について図解している。

図2-11 侵蝕（水蝕）を引き起こす要因



(出所) 土壤物理研究会編『土壤物理用語事典』
(養賢堂, 1984年), 120頁。

る。そして、雨水が土中に染み込み、もはや吸収できない飽和状態になると、雨水は逆に溢れ出して地表を流れる。このとき流去水は分散された土壤粒子を流亡させ、侵蝕が始まる。こうした表土に対する雨滴の衝撃エネルギーは雨の落ちるスピードに依存しているが、雨滴の大きさは雨のスピードと関連している。この雨滴の衝撃力については、一般に次のようにいわれている。「雨滴が持っている土壤の破壊力は落下する終速度 9m/sec で、直径 6mm の場合は、46.7g の物体を 1cm 持ち上げる運動エネルギーを持っていると計算される。」³⁸⁾さらに、降雨の頻度と量については「10分間2~3mm 以上の雨を侵蝕における危険降雨」³⁹⁾とされている。土地改良局は、こうした土壤侵蝕量と相関する降雨に関する諸量、つまり降雨量・降雨強度・降雨エネルギーなどを組み

しよう。

土壤侵蝕を規定する因子と、各因子間の規定関係は、図2-11のように図示される。ただし、水蝕は降雨の侵蝕に対する土壤の受蝕として起こるものであるから、侵蝕の因子分析にあたっては、侵蝕力 (erosivity) と受蝕性 (erodibility) とに別けて検討することが便利である。そこでまず、erosivity としての降雨因子の側面からみていこう。

降雨時に、雨滴が表土に当り土壤の粒子を分解し分散させ

38) 土壤物理研究会編『土壤物理用語事典』養賢堂, 1974年, 120頁。

39) 久馬一剛・前掲論文, 127頁。

合わせて、降雨因子の係数 (R-value) を算出している。表 2-4 は、その R-value について表示したものである⁴⁰⁾。

R-value は当然、地域により一定ではない。それは、雨量密度が地域によって変動するからである。まず北部では、R-value はその北側の地方で高く、南側に行くにしたがい低下する。たとえば、北側のナーン県では R-value は

表 2-4 タイ各地の R-value (降雨因子) (単位: feet-tons/acre/年)

地域	地 点	R-value
北 部	R-value は上半部で高く、下半部にいくに従い低下。 例えば Nan 県北部 Tak 県は最低	1,050 500-600
東 北 部	R-value は、同地域の外縁部 (とくに Sakon Nakhon 県から Ubon Ratchathani 県南部にかけて) で高く、中央部で低い。 例えば Nakhon Phanom Ubon Ratchathani 県南部 中央部	1,250 1,550 500-700
中 部	同地域の東部で R-value が高く、西部は比較的低い。中央部ではコンスタント。 例えば Prachin Buri Kanchanaburi 西部	1,050 450
東 部	R-value は Trat 県の南部が高く、北に行くにしたがって低下。 Trat	3,050
南 部	同地域の北部ほど R-value は低く、南部ほど高い (とくに Ranong, Chumphon の両県)。 Ranong	2.750

(出所) Kron Phatthana Thidin. *Kan Chalang Phan Thalai khong Din nai Prathet Thai* [土地改良局『タイ国の土壌侵蝕』] 1981. pp. 7-10. より作成。

40) 以下の R-value, K-value, LS-value, C-value は、*Kan Chalang Phangthalai khong Din nai Prathet Thai*. Krom Phatthana Thidin. [「タイ国の土壌侵蝕」土地改良局] 1981. のデータによっている。

1,050 feet-tons/acres/年と高く、南側のターク県では 500~600 feet-tons/acres/年と低い。周縁が山で囲まれたケスタ状の東北部では、R-value は地域の外縁部で高く、盆地の中央部では低い。たとえば、ノンカーイ県からウボンラーチャターニー県南部にかけて高く、とくにサコンナコンとウボン南部では 1,500 feet-tons/acres/年という高さである。一方、中央部では 500~700 feet-tons/acres/年の数値にとどまっている。つまり、これらの数値は、北部では上半部において、また東北部ではその外縁部の山地=森林破壊地域において水蝕の営力が最も強く作用することを示唆している。

他方、中部では、R-value はプラチンブリー辺りの東部で高く、1,050 feet-tons/acres/年ぐらいであるが、西部に行くほど低下し、カーンチャナブリーでは 450 feet-tons/acres/年に低下する。つまり、タノン・トン・チャイ山脈系のほうがベッチャブーン山脈沿いより水蝕の営力がやや弱いことを意味している。次に、熱帯モンスーン気候帯に属する東南部の南部、トラート県では R-value は最も高く 3,050 feet-tons/acres/年を記録し、熱帯多雨林気候帯のタイ南部も同様に高い数値を示している。要するに、タイ全国の R-value の変数値は、図 1-1 に掲げた等雨量線図の降雨分布に照応した曲線を描いており、降雨因子の erosivity もほぼその曲線にそって作用しているといえよう。

(2) さて、今度は逆に erodibility の側面、つまり土壌の受蝕性の問題をおこす⁴¹⁾。雨滴の衝撃によって土壌粒子は分散して泥状化し、表土層の孔隙を閉塞させる。その結果、地表土膜(クラスト)が形成されて透水性が阻害され、地表水を地下に排水することが困難となり侵蝕の危険が生じる。したがって、土壌の受蝕性は、雨滴の衝撃による土壌粒子の分散性や、流去水による土壌粒子の移動に対する抵抗性、そして地表流去水の量を左右する土壌への透水性・侵入度、によって決定される。これらの受蝕性を決定する要因は、結局土壌の性質と、土壌を被覆する植生の状態とに依存する。植生についてはここで

41) 土壌の受蝕性については、久馬一剛・前掲論文のほか、前田正男・松尾嘉郎・前掲書、土壌物理研究会編・前掲書、などを参照。

は攪き、土壌の理化学的性質についてみておこう⁴²⁾。

土壌の理化学的性質は、石理 (texture)、土壌構造 (structure)、有機物の含有量、水の透水性に依存している。石理についていえば、微粒砂 (シルト) の含有量の高い土は砂質土より侵蝕され易く、砂質土は粘土より侵蝕され易い。また、有機物の含有量の高い土壌は低い土壌より侵蝕に対して耐蝕性がある。さらに、丸い粒子の土壌構造は塊状や板状の構造より耐蝕性があり、浸透度の良い土壌も侵蝕にたいして抵抗性がある。タイの土壌調査部と土壌分析部は協力してこれらの理化学的性質を測定し、土壌因子 (K-value) を算出した。この算出結果が表 2-5 である。

表 2-5 タイの土壌の理化学性と土壌因子 (K-value)

K-value	土 壌 の 理 化 学 性				土 壌 お よ び 分 布 地 域
	石 理 (texture)	土 壌 構 造 (structure)	有 機 物 含 有 量	浸 透 性	
0.21 } 0.31	中 程 度 } 微 細	塊 状 中 度	中 程 度 } 低 い	良 } かなり遅い	タイのほとんどの地域で一般的に見られる。
0.06 } 0.20	粗 い } 中 程 度	中 度 } 良	低 い } 中 程 度	中 度 } 良	海岸の砂地、山地の砂岩などに由来する土壌、あるいは花崗岩土壌。河成ないし海成沖積地。
0.31 } 0.40	中 程 度	中 度 } 劣	低 い	遅 い } 中 度	岩石やラテライト層の浅い土壌、段丘をなす古い沖積地の土壌。タイでは分布、少ない。
0.04 } 0.64	シルトの 比重、高 い	劣	低 い	遅 い	一次的河成堆積物や砂岩を母材とする土壌。

(出所) 表 2-4 に同じ。pp. 10~12 より作成。

(注) シルト (silt) とは、砂と粘土の中間の粒径の岩砕粒子のこと。
粒径 0.02~0.02 mm。

42) 土壌の理化学的性質と侵蝕との関連については、Fai phoei phrae lae prachasa-mphan, "Kan Kadkron khong Din." in *Khumu Jaonathi khong Rat, Ruang Din kab Kan Phatthana Thidin*. Krom Phatthana Thidin, 「宣伝・広報部「土壌侵蝕」『土壌と土地改良問題についての政府担当者の手引き書』土地改良局 1987. pp. 15-16. を参照。

これによると、タイのほとんどの地域は K-value が0.21~0.31であり、受蝕性は中程度である。この係数値内の土壌の石理は大部分「中程度~微細」であり、土壌構造は「塊状中度」である。また、有機物の含有量は「中程度~低い」、浸透性は「良~かなり遅い」となる。一方、山地の砂岩に由来する土壌や、花崗岩土壌、古い沖積土壌では、K-value は0.06~0.20 で、受蝕性は最も低い。これに対して、岩石やラテライト層上の浅い土壌は0.31~0.40であり、侵蝕に対する抵抗性が最も弱い。

ところで、土壌の受蝕性を考える場合、その土壌の置かれている傾斜・斜面長などの地形や、被覆している植生・作物の種類などを考慮に入れなければならない。つまり、傾斜度が大きく、斜面長が長いほど表面流去水の水量と速度が増大し、侵蝕の営力が大きくなる。また傾斜面の形状もこれに関係し、凸凹の傾斜面は平坦なそれよりも侵蝕が大きく、平坦な斜面は湾曲したそれよりも侵蝕され易い。タイの傾斜・斜面長因子 (LS-value) は水田で1~2、山地で最も高く33という数値が計上されている。

また、地面を覆う植生の密度の高い土地では、林冠やグランド・カヴァーが雨滴の衝撃エネルギーを弱め、かつ表面流去水の量と速度を弱める。さらに、植生は土壌に対する有機物の供給を増大することによって、土壌の耐蝕性を高める。表2-6は、植生の種類による受蝕性の係数の違いを表示したものである。針葉林を除くすべての林地では C-value はきわめて低いが、畑作物の栽培地では相対的に高い。とくに、キャッサバ、メイズ、サトウキビなどの作物は、山の斜面の、肥沃度の低い砂質土壌に植え付けられることが多く、しかも

表2-6 タイにおける作物因子 (C-value)

ソイ・ピーン	0.421	高地常緑林	0.003
メ イ ズ	0.502	混合落葉林	0.014
稻	0.28	乾燥フタバガキ林	0.017
キャッサバ	0.60	乾燥常緑林	0.019
パイナップル	0.38	チーク植林	0.088
サトウキビ	0.40	針葉林	0.400

(出所) 表2-4に同じ。P.13~15より作成。

生育期間により被覆度と雨季のスコールのサイクルとが関連し、受蝕性を高めている。これに対して、同じ農作物でも稲の場合は低い⁴³⁾。

以上、土壌侵蝕推定式の各因子の数値について、土地改良局の資料により紹介してきた。これらの数値はアメリカの経験を機械的に当てはめたところが多く、今後の実験によっていっそうの精密化が図られねばならないだろう。

(3) ともあれ、土地改良局は、以上の USLE 式によりタイ各地の土壌流亡量について推計している⁴⁴⁾。流亡量の最も大きい地点は東南部のチャントプリー県のマバーム郡の966.65トン/ライ/年であり、つづいて第2位は東北部のウボンラーチャターニー県ナムジューム郡の716.72トン/ライ/年である。以下、土壌流亡量の大きい順にリスト・アップしておこう。スコータイ県シー・サッチャナーライ郡507トン/ライ/年、プラチュアップキーリーカン県タップサケー郡364トン/ライ/年、チョンブリー県タームアン郡276トン/ライ/年、ウタイ

表 2-7 シャム湾に流入する年間平均土砂量の見積り

地域	分水界 (km ²)	分水界1km ² 当り年間平均流亡量 (トン/km ²)			年間平均沈澱量 (100万トン)		
		懸濁状態	河床土砂	計	懸濁状態	河床土砂	計
中部*	67,189	183.0	36.6	219.6	12.3	2.5	14.8
東部	36,394	190.0	38.0	228.0	6.9	1.4	8.3
南部	70,188	295.0	59.0	354.0	20.4	4.1	24.5
計	—	668.0	133.6	801.6	39.6	8.0	47.6

(出所) Department of Conservation, Faculty of Forest, Kasetsart University, Thailand, *Natural Resources Profile*. 1987. 国際協力事業団『東部タイ農地保全総合開発計画実施調査』1988年, 3~34頁を参照。

(注) *中部には、水源を北部にもつ河川の分水界も含める。

43) 侵蝕防止の土地利用法や作付法については、Fai phoei phrae lae prachasa-mphan, *Khumu Jaonathi khong Rat, Ruang Kan Pongkan Kan Chalang Phangthalai khong Din*. Krom Phatthana Thidin. [宣伝・広報部『土壌侵蝕防止についての政府担当者の手引き書』土地改良局] 1983-86. を参照。

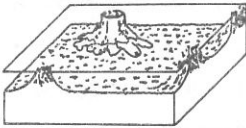
44) 以下の土壌侵蝕の発生因子とその係数について、*Kan Chaang Phangthalai khong Din nai Prathet Thai*. Krom Phatthana Thidin, [タイ国の土壌侵蝕』土地改良局] 1981, pp. 17-19. を参照

ターニー県ランサック郡およびバーンライ郡 230 トン/ライ/年, となっている。なお, 各地域の主要地点での土壌流出量, および各地域の侵蝕面積について後述することにする。

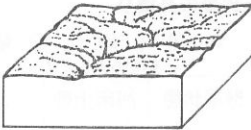
最後に, シャム湾への年間堆積土砂量についての資料を表 2-7 に掲示して土壌侵蝕の大きさに刮目しておこう。これによると, シャム湾へ流入する土砂は, 懸濁状態のものと沈殿状態のものとを合せた総量は年間4760万トンに達し,

図 2-12 侵蝕の諸形態

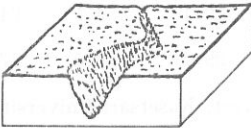
(1)面状侵蝕



(2)雨裂侵蝕



(3)地隙侵蝕



(出所) Krom Phatthana Thidin, *Kan Pongkan Chalang thalai khong Din*. [土地改良局『土壌の侵蝕防止』] 1984, p. 85.

とくに 南部からの流亡が 2450 万トンと飛び抜けて高い。シャム湾への流入土砂量を重量から体積に換算すれば「土砂量の単位体積重量を 1.8 トン/m³ とすると約 2700 万 m³ となる。」これは, 「農耕に適する表土を 20cm と仮定すると毎年 1 万 3500ha の農地が失われるに等しい。」⁴⁵⁾この毎年消失する 1 万 3500ha (8 万 4375 ライ) という土地面積はバンコク府内の農地の 7% に相当する大きさである。

ともあれ, 膨大な量の表土が土壌侵蝕により流出されていることをここで確認しておきたい。

3.2. 土壌侵蝕の諸形態

これまで, 侵蝕を引き起こす因子の検討を行ってきたが, 今度は雨滴の分散作用と運搬作用によって発生する侵蝕の諸形態について簡単に観察しておきたい。図 2-12 に主要な侵蝕形態について図示しておく⁴⁶⁾。

45) 国際協力事業団『東部 タイ 農地保全総合開発計画実施調査』1988 年, 3-34 頁。

46) “Kan Chalang Phangthalai khong Din.” in *Kan Pongkan Kan Chalang Phangthalai khong Din*. Krom Phatthana Thidin, [「土壌侵蝕」]『土壌侵蝕の防止』土地改良局] 1984/85, Chap. 3.

①面状侵蝕。傾斜が小さく、平坦な土地において発生する侵蝕で、表土が全体として面状に侵蝕される型である。この面状侵蝕は他の二形態と違ってはっきりとした地表の変化として現われないが、表土の全面的な流出によって農業生産に大きな被害を与える。

②雨裂侵蝕。傾斜がややあり、また土壌が砂質土の場合発生し易い型である。侵蝕は傾斜の起伏にそって小さな溝となって発生し、その溝を流去水が流れ土壌を流亡させる。溝の幅は6ニウ（約12cm）以下であり、耕耘機によって補修できる程度のものである。

③地隙侵蝕。雨裂侵蝕がいつそう進み、流去水の掃流力によってリル（溝）からガリー（峡谷）へ、深く幅広く掘り下げられたものである。侵蝕されたガリーの幅は数mのものから10mのものまでである。この侵蝕の型にあっては侵蝕が深く土壌の流亡量も大きいので、通常の補修作業によっては回復できず、しばしば耕作放棄につながる。この型の侵蝕として、プレー県のベームアンビーや、ナーン県のサオディンのガリーが知られている。

侵蝕の形態は以上のほか、シンク・ホールや崩壊型等が挙げられる。シンク・ホールについては、すでに図2—9で指摘したように岩塩や石膏などのレンズ状の地層が侵蝕されて地表が沈下したもので、東北タイの地形を特徴づけるほど広範囲に見られる。また、崩壊型の侵蝕は、1980年にチエンマイ県メーラム郡のメージム滝で発生したものがよく知られている。

3.3. 侵蝕地域と被害

(1) 侵蝕の三つの形態はたんに形態だけにとどまらず、侵蝕が深刻化する程度・段階をも示すものである。土地改良局は、年間土壌流亡量と侵蝕率とを指標として土壌侵蝕の五段階評価を試みている⁴⁷⁾。①「きわめて軽度」の場合、

47) Fai phoeiphræ lae Prachasamphan, "Kan Kadkron khong Din." in *Khumu Jaonathi khong Rat, Ruang Din kab Kan Phatthana Thidin*. Krom Phatthana Thidin, [宣伝・広報部「土壌侵蝕」『土壌と土地改良問題についての政府担当者の手引き書』土地改良局] 1987. pp. 11—12. を参照。

年間土壌流亡量はごく僅かな0.01~1.00トン/ライ/年の程度にとどまり、表土（ないし上層土）の侵蝕率が25%以下の水準である。②「軽度」の場合は、年間土壌流亡量が1.01~5.00トン/ライ/年の間にあり、侵蝕率は25%以下である。③「中度」の土壌侵蝕とは、年間土壌流亡量が5.01~20.00トン/ライ/年であって、侵蝕率が25~75%の水準である。さらに④「強度」になると、表土は75%以上侵蝕されて流出し、下層土も25%以下の侵蝕にあっている。土壌流亡量は、20.01~100.00トン/ライ/年にも上る。最後に、⑤「激度」とは、表土は侵蝕されて消失し、下層土はまだみられるものの、25%以上も侵蝕されている。土壌流亡量も100.01~966.65トン/ライ/年という莫大な量となる。このような五段階評価のうち、「中度」以上の侵蝕土壌を現実侵蝕被害にあっている土壌として区別し、これらの土壌の Zone 別・県別分布を整理してみた。表2-8がそれである。

全国の土壌侵蝕の被害にあっている土地面積は1億0831万6706ライに上り、それは国土の33.9%という大きさである。地域別では、チョンブリー県を中心とする東南部の地域がとくに酷く、侵蝕面積は地域面積の52.2%、1120万8365ライに上っている。ただし、侵蝕面積の大きさからすると、東北部が断然大きく、地域面積の40.7%に相当する4294万8629ライに達している。その次は、中部の30.5%と北部の27.6%、最後に南部の13.5%、となっている。ともかく、地域の40%なり、50%なりの土地が、土壌侵蝕の被害にあっているという現実には、注意を喚起しておきたい。

次に、侵蝕土壌の地域的分布を見るために、侵蝕マップを掲げておこう。図2-13がそれである。「強度」と「激度」に注目してこれを観察すると、土壌侵蝕の深刻な地域は5地帯あることが明らかである。まず、①コーンケーン(No.10)からウドンターニー(No.4)へと北上し、ついでウドンからパーパン山脈沿いにカーラシン(No.9)→ローエット(No.12)→ヤソートン(No.7)→ウボンラーチャターニー(No.8)へと東南にコーラート高原を縦断する「へ」の字型の地域、②ペッチャブーン山脈の西側、パーサク川流域の地域、つまりペッチャブーン(No.19)→ナコンサワン(No.18)→サラブリー

図 2-13 タイにおける土壤侵蝕 (1981年)
(出所) Krom Phattha Thidin, *Kan Chalang Phang Thakhong Din nai Prathet Thai*. 1981 〔土地改良局
『タイ国の土壤侵蝕』

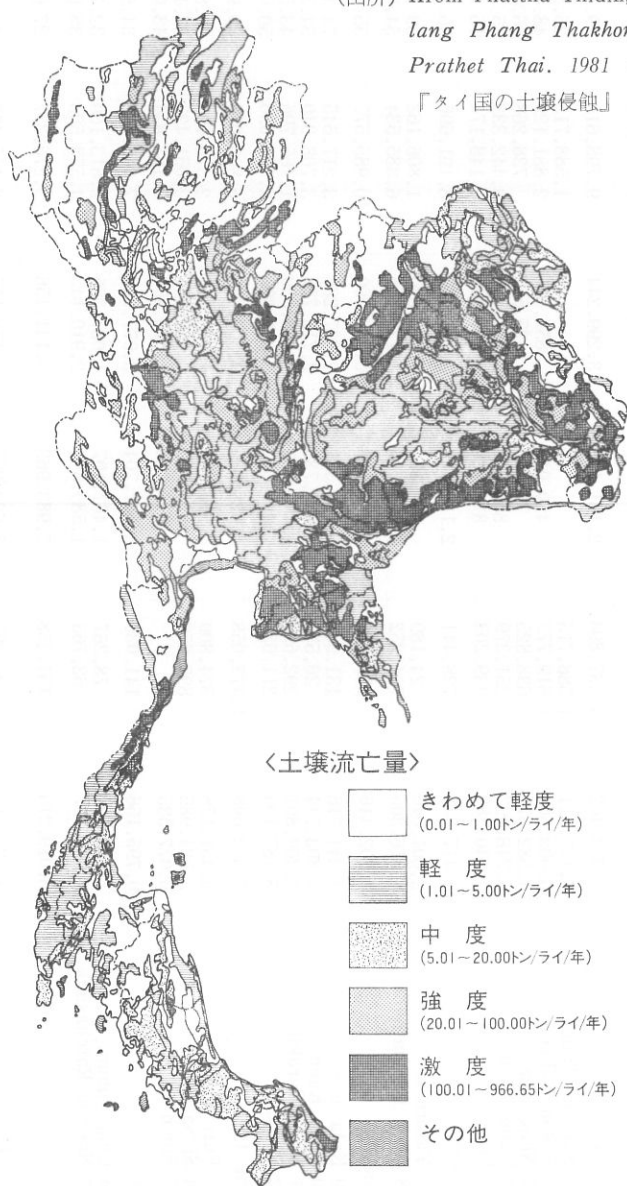


表2-8 タイにおけるエロージョンの実態 1981年

(単位：ライ，%)

Agro-Economic Zone	県面ライ	土壌侵食中度	土壌侵食強度	土壌侵食激度	計	県面積に占める(1)の割合
東 北 部	105,602,077	7,342,277	12,731,051	22,875,301	42,948,629	40.7
Zone 1	33,633,462	4,337,894	2,161,480	3,299,244	9,798,618	29.1
1 Nakhon Phanom	6,157,811	1,588,715	—	—	1,588,715	25.8
2 Sakon Nakhon	6,003,602	1,619,772	410,046	851,311	2,881,129	48.0
3 Nong Khai	4,582,675	638,825	73,781	25,662	738,268	16.1
4 Udon Thani	9,748,992	251,379	859,365	2,331,588	3,442,332	35.3
5 Loei	7,140,382	239,203	818,288	90,683	1,148,174	16.1
Zone 2	14,417,345	728,441	2,138,179	5,325,076	8,191,696	56.8
7 Yasothon	2,601,040	24,189	583,153	1,198,820	1,806,162	69.4
8 Ubon Ratchathani	11,816,305	704,252	1,555,026	4,126,256	6,385,534	54.0
Zone 3	19,702,416	662,854	4,354,723	5,968,000	10,985,577	55.8
9 Kalasin	4,341,716	131,988	848,371	2,237,286	3,217,645	74.1
10 Khon Kaen	6,803,744	26,534	962,730	2,718,776	3,708,040	54.5
11 Maha Sarakham	3,369,801	292,696	1,114,561	58,539	1,465,796	43.5
12 Roi Et	5,187,155	211,636	1,429,061	953,399	2,594,096	50.0
Zone 4	17,053,698	1,472,058	1,028,965	4,305,052	6,806,075	39.9
13 Buri Ram	6,451,178	574,800	206,437	1,789,557	2,570,794	39.8
14 Si Sa Ket	5,524,985	897,258	175,142	979,027	2,051,427	37.1
15 Surin	5,077,535	—	647,386	1,536,468	2,183,854	43.0
Zone 5	20,795,156	141,030	3,047,704	3,977,929	7,166,663	34.5
16 Chaiyaphum	7,986,429	78,267	1,467,107	1,067,786	2,613,160	32.7
17 Nakhon Ratchasima	12,808,727	62,763	1,580,597	2,910,143	4,553,503	35.6
北 部	106,019,216	5,151,258	17,983,963	6,141,156	29,276,377	27.6
Zone 6	18,122,711	395,295	5,600,055	2,170,115	8,165,465	45.1
19 Phetchabum	7,917,760	217,738	2,720,543	738,727	3,677,008	46.4
Zone 8	25,216,631	2,959,377	5,751,290	671,237	9,381,904	37.2

23 Kamphaeng Phet	5,379,681	1,796,275	1,430,995	56,487	3,283,757	61.0
Zone 9	28,112,070	1,630,169	3,929,559	1,967,734	7,527,462	26.8
30 Sukhothai	4,122,557	1,085,058	1,041,770	362,785	2,489,613	60.4
Zone 10	34,567,804	166,417	2,703,059	1,332,070	4,201,546	12.2
32 Chiang Mai	12,566,910	—	770,352	1,117,198	1,887,550	15.0
中 部	42,472,169	876,275	9,817,108	2,278,032	12,971,415	30.5
Zone 7	6,110,148	105,396	2,089,587	881,523	3,076,506	50.4
21 Lop Buri	3,874,845	105,396	1,744,456	471,568	2,321,420	59.9
Zone 11	11,633,579	684,120	1,825,225	508,506	3,017,851	25.9
44 Suphan Buri	3,348,755	440,696	920,238	209,967	1,570,901	46.9
Zone 12	23,295,228	86,759	5,902,296	888,003	6,877,058	29.5
47 Kanchanaburi	12,176,967	—	4,117,033	153,430	4,270,463	35.1
Zone 14	1,433,214	—	—	—	—	—
東 部	21,487,812	2,181,751	2,706,506	6,320,108	11,208,365	52.2
Zone 13	10,817,812	600,864	1,889,834	3,614,281	6,104,979	56.4
52 Prachin Buri	7,473,437	600,864	1,566,433	2,331,713	4,499,010	60.2
Zone 15	4,946,875	901,608	503,337	2,705,827	4,110,772	83.1
56 Chon Buri	2,726,875	455,388	499,563	1,523,233	2,478,184	90.9
57 Rayong	2,220,000	446,220	3,774	1,182,594	1,632,588	73.5
Zone 16	5,723,125	679,279	313,335	—	992,614	17.3
南 部	88,393,972	11,054,491	478,244	379,185	11,911,920	13.5
全 国 計	319,778,260	26,606,052	43,716,872	37,993,782	108,316,706	33.9

(出所) Krom Phatthana Thidin, *Kan Chalang Phang thalai khong Din nai Prathet Thai*. 「土地改良局「タイ国の土壌侵蝕」1981, Table3より作成。

(注) 「土壌侵蝕・中度」とは流亡土量が5.01~20.00トン/ライ/年、「強度」とは20.01~100.00トン/ライ/年、「激度」とは100.01~966.65トン/ライ/年である。

No. 22)→ロップリー (No. 21) と南北に続く地域, ③サンカムベーン山脈にかかるナコンラーチャシーマー (No. 17) とプラチンブリー (No. 52) の2県を中心にして, パノム・ドン・ラック山脈沿いに東に細長く伸びる地域, ④チョンブリー (No. 56) とラヨーン (No. 57) を中心とする東部地域, ⑤テナセリム山脈に少しかかったラーチャブリー (No. 50) からカーンチャナブリーのクェー・ノーイ川沿いに伸びる地域と, カーンチャナブリー (No. 47)→スパンブリー (No. 44) →ウタイターニー (No. 20) へと続くタノン・トン・チャイ山脈系の地域, である。

これらの地域はいずれも主要な山脈の森林破壊地域であり, したがって「強度」と「激度」の土壤侵蝕が, 森林の破壊→裸地化と山地の傾斜面との, これら2因子が強く作用する地域において広がっていること, が確認できる。

(2) 以上の土壤侵蝕の全国的状況を念頭に置きながら, 各地域別に①土壤流亡量と②侵蝕面積, の2点を中心に観察してみよう⁴⁸⁾。

まず, 北部からみていこう。①北部の西側と東側の地域, たとえば西のチェンマイ県のメーリム郡とチョームトーン郡の一带と, 東のウトラディット県のムアン郡, トローン郡, ナムバート郡の地域の, これら東西二地域において土壤流亡量は大きい。とくに, 山の裾野の傾斜地や山頂周辺の森林破壊地域では, 土壤流亡量は111~179トン/ライ/年と大きい。しかし, 勾配が緩やかになるにつれて, また森林保全が良くなるほど, 流亡量は低下していく。平地の水田が永続的に行なわれているところでは, 流亡量はだいたい0.51~3.64トン/ライ/年程度だという。しかし, ②土壤流亡量の地点的大きさとは別に, 侵蝕面積の広がりという点から見れば, むしろ北側の山岳地域の方が侵蝕面積は小さい。つまり Zone 10 (侵蝕面積率12.2%)→Zone 9 (同26.8%)→Zone 8 (同37.2%) → Zone 6 (同45.1%) という具合に, 北部を南に下がるほど侵蝕面積は大きくなっている。北部の土壤侵蝕マップは, すでに図1-5, 図1

48) 以下, 土壤流亡量と侵蝕面積については, *Kan Chalang Phangthalai khong Din nai Prathet Thai*. Krom Phatthana Thidin. [「タイ国の土壤侵蝕」土地改良局] 1981, p.17 以下, および付表3を参照。

—6で確認した森林破壊の地帯的特徴や、図1—7でみた山岳民族の移動耕作地帯とは、ややずれているように思われる。もっとも、ベッチャブーンを中心とする Zone 6 の地域はベッチャブーン山脈西側の森林破壊地域であることはいうまでもない。

次に、東北部についてみる。①東北部の北半部の地域、つまりウドンターニー、コーンケーン、カーラシンの諸県は最もエロージョンの激しい地域で、年間の土壌流亡量は319~508トン/ライにも上る。これらの地域のなかでも、山の裾野の傾斜のきつい地点や、山頂周辺の森林が破壊された地域ほど、侵蝕が著しい。また、南半部では、ローイエット、ナコンラーチャシーマー、スリン、ウボンラーチャターニーの諸県において侵蝕が大きいが、地点によって流亡量に変化があり、年間110~503トン/ライの間だといわれる。ただし、この地域内でも、低地の水田で、土壌管理が行き届いておれば、土壌侵蝕の度合は低い。東北部の中央部は、相対的に土壌侵蝕が少ないが、それでも流亡量は5.20トン/ライ/年であり、侵蝕「中度」地域にあたる。なお、この中央部は、すでにふれたようにディン・ケムの激発地域であることを想起しておきたい。次に、②侵蝕面積の大きい地域を挙げれば、ウボンラーチャターニーの639万ライを筆頭に、ナコンラーチャシーマーの455万ライ、コーンケーンの371万ライ、ウドンターニーの344万ライ、カーラシンの322万ライ、が上位5県である。また、侵蝕面積率の指標で見れば、カーラシン74.1%、ヤソートン69.4%、コーンケーン54.5%、ローイエット50.0%であり、これらの4県では侵蝕面積が県面積の5割を超えるほどの凄じさである。こうして東北部の侵蝕面積は17県合計で4295万ライに達し、それは東北部の地域面積の40.7%という広大な地域となる。

そこで、侵蝕の地域的広がりを地図上にトレースした図2—13をもう一度振り返ってみよう。同図によれば、土壌侵蝕の「激度」地域は、東北部の北半部のコーンケーンからウドンターニーに北上し、今度はウドンからカーラシン、ヤソートン、ウボンラーチャターニーへと東南に下がり、そして中央部を押し包むように南部のスリンから、ブリーラム、ナコンラーチャシーマーへと「く」の字」型に伸びる地域である。このようなエロージョンの激発地域は、さきの

地質図(図2-4)に写しかえるなら、ウドンターニーからブーバーン山脈を通り、ウボンラーチャターニーの地点で90度西に向けて方向を転じていく、ジュラ紀・三畳紀堆積岩層(砂岩、礫岩、雲母頁岩、沈泥岩からなる地層)の堆積にそって展開していることが分かる。そしてまた、この地域は、図1-5の森林破壊地域図や図1-9の畑作物の地域的集中から明らかなように、森林破壊と畑作化が進行する地域であった。つまり、砂岩や頁岩からなるブーバーン地層やプラウィハーン地層の展開する地域は受蝕性の高い土壌構造の地域であったが、それに森林破壊による裸地化とキャッサバ栽培などの作物因子や傾斜・斜面長因子も重畳して、水蝕が現実化したのである。こうして、森林破壊による砂漠化が東北部において確実に広がっているのである。

つづいて、中部についてみる。①チャオブラー川(Chao Phraya)のデルタ地域は、その西側と東南部地区を除いて土壌流亡量は少ない。この流域で、とくに例外的に流亡量の大きな地域は、ナコンサワン県のラートヤーオ郡、ウタイターニー県のバーンライ郡とラーンサック郡、そしてサラブリー県のケーンコーイ郡などの畑作地帯である。これらの地域の土壌流亡量は、年間230~253トン/ライぐらいである。これに対して、タノン・トン・チャイ山脈沿いの西部丘陵地帯は全域的にエロージョンの危険地域である。たとえば、クェー・ノイ川やクェー・ヤイ川の地域から北のメークローン川流域の山地地域では、流亡量は276トン/ライにまで達した。また、西部の丘陵地域でサトウキビのために開拓されたところでは流亡量は72~76トン/ライであった。②侵蝕面積の点では、やはり西部丘陵のカーンチャナブリー(侵蝕面積率35.1%)やスパンブリー(同46.9%)、そしてペッチャブーン山脈に延長されるロップブリー(同59.9%)、の二地域において大きい。

次に、東南部も、他の地域と同様に、畑作に利用されている丘陵の斜面において土壌流亡が著しい。たとえば、チョンブリー、ラヨーン、チャントブリーの一部では、流亡量が238~316トン/ライにもなる。ただし、トラート周辺やチャントブリーの大部分では果樹やパラ・ゴムノキが植えられているため、流亡量は相対的に低く、1~29トン/ライの間である。②侵蝕面積は Zonel 15を

筆頭に驚くほど広範囲であり、東南部全体でも50%を超える広がりである。

最後に、南部でとくに酷い地域は、ベッチャブリー県南部からプラチュアップキリーカンまでの地域であり、それより南は森林や果樹園・ゴム園が分布して土壌流亡は大きくない。また、侵蝕面積比率も全国で最も低く13.9%の水準を保っている。

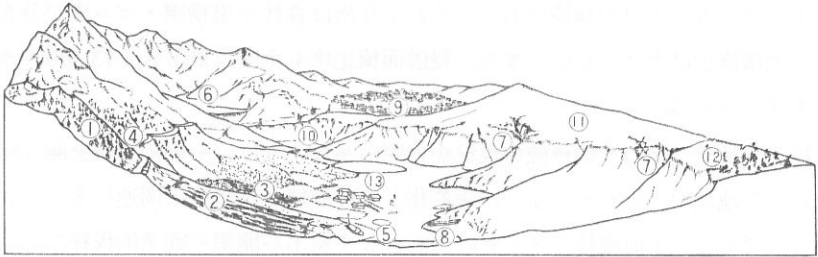
以上、地域ごとの土壌侵蝕の現況から明らかなことは、一部の地域を除くほとんどの地域で、エロージョンの深刻化と森林破壊とが密接に関連しあっていることである。生命維持システムの中心をなす樹木が開墾や商業的伐採などの目的のために乱伐された結果、森林のもつ環境保全的機能が損なわれ、生命を育むはずの土壌が大量に流出することになった。それは、たんに土地生産性の低下だけでなく、土地に生活の基盤を置く人々の生存さえも脅威に晒すことになったのである。

(2) そこで、最後に土壌侵蝕による被害についてまとめておこう。もっとも、侵蝕被害について体系的な調査なり、報告書なりがあるわけではない。ここでもやはり土地改良局あたりの断片的な資料を整理しておくことにとどめざるをえない。

図2-14は、土壌侵蝕による被害を網羅的に図解したものである。ただ、⑨の人口流出と都市の過密問題の指摘だけはやや異質的である。これを除く他の12項目は、森林破壊による土壌流亡の問題から洪水問題まで、観察すべき論点をほぼ漏れなく図解している。以下、重要と思われる二、三の点についてのみ解説をくわえておきたい。

①土壌と栄養物の流出による農作物の収量低下。水蝕が進むなかで、まず軽い土壌粒子の流失が生じ、つづいて有機物と粘土質の土壌粒子の消失と、さらに微粒砂や目の細かい砂の流出まで進む。そして、目の粗い砂や砂利のみが残ることになる。こうした土壌粒子の流出は、植物が根によって掴み、かつ栄養物を吸収する大地から、大量の栄養物が消失したことを意味するが、それだけでなく土壌の密度が低下し水を吸収する能力がなくなることを意味する。土壌の保水能力の低下は、その結果としての収量の低下であり、肥料の投下を必要

図2-14 侵蝕による被害



凡 例

- ① 森林への不法侵入と破壊により、土壌保護なくなる。
- ② 丘陵地の傾斜にそって上下に耕耘した結果。
- ③ 単一作物が何度も栽培され、荒地が広範に放棄。
- ④ 森林破壊により、側壁が崩壊し道路を閉鎖。
- ⑤ 耕地の侵蝕土壌が川に流入し、川の水生動物の水文環境を破壊、水生動物の数、減少。
- ⑥ ダムに土砂が堆積、貯水能力と発電能力の低下。
- ⑦ 地隙侵蝕の拡大。
- ⑧ 山の裾野の河川に土砂が堆積し、水上交通不能。
- ⑨ 村民の都市への移動、増大し、都市区域での過密問題発生。
- ⑩ 洪水により橋が破壊。
- ⑪ 農業適地が減少。
- ⑫ 風蝕。
- ⑬ 村において洪水問題発生。

(出所) Krom Phatthana Thidin, *Kan Pongkan Kan Chalang phangthalai khong Din* [土地改良局『土壌の侵蝕防止』] 1984. P.84.ただし、原資料は FAO(1984)

にする。

土地改良局の研究によれば、水蝕によって流失した表土のなかに、溶解物質の形で含有された栄養物は、年間 2740 万トンに上るといふ。その内訳は、カリウム2410万トン、窒素 310 万トン、燐20万トンである。いま、これを1985年1月の肥料の最安値で経済的価値に換算すれば、1749億6000万パーツに上り、それは同年の財政収入 1605億6970 万パーツを150億パーツ近くも上回る大きさ

である⁴⁹⁾。

タイでは、森林開拓後30年を経た耕地の多くは表土が流失して収量が大幅に低下するという。ナコンラーチャシーマー県のパークチョーン郡でも同様な事情がみられ、肥料を投下しなければ収穫が得られず、また肥料を投下しても森林開拓時と比べて質・量とも劣る、と報告されている。ラヨーン県の農業試験場で、トゥモロコシを侵蝕防止した畑と、防止しなかった畑に分けて栽培した結果、前者では305.93kg/ライ、後者では174.23 kg/ライとなり。収量に大きな違いが生じることが明らかになった。

②侵蝕土砂の堆積による被害。土砂の流入による被害は次のようなものがある。

一肥沃な田畑への土砂の流入・堆積による土壌の劣化

一河川への土砂の流入による川床の上昇と洪水の頻発

一貯水池への土砂の堆積による貯水能力と発電能力の低下

一河口での堆積と砂州の形成により船の往来の妨害

タイ全国において侵蝕による土砂の流亡量は毎年2800万トン以上と見積もられている。シャム湾への土砂の推定流亡量についてはすでにふれたが、チャオプラヤー河への土砂の堆積も膨大なものがある⁵⁰⁾。1978年に、タイ政府がチャオプラヤー河のクロントゥーイ港からパークナムまでの掘り上げ作業に要した費用は1億1250万バーツであったといわれる。翌年の79年にはパークナーからラーマ I 世橋までの堆積土砂 525 万m³ を取り除くのに、5642 万バーツがかかっている。さらに、1983年にはクロントゥーイ港周辺の同様な作業にタイ政府は8308万バーツを負担している。このように政府は、毎年チャオプラヤ

49) “Kan Chalang Phagthalai khong Din.” in *Kan Pongkan Kan Chalang Phangthalai khong Din*. Krom Phatthana Thidin. 『土壌侵蝕』『土壌侵蝕の防止』土地改良局〕1984/85. pp.79—80.

50) Fai phoei phrae lae prachasamphan, “Kan Chalang Phangthalai khong Din” in *Khumu Jaonathi khong Rat. Ruang Kan Pongkan Kan Chalang Phangthalai khong Din*. Krom Phatthana Thidin, 『宣伝・広報部「土壌侵蝕』『土壌侵蝕防止』についての政府担当者の手引き書』土地改良局〕1983—86, pp.28—29.

一河の堆積土砂の掘り上げ作業に莫大な費用を出費しているのである。そればかりか、チャオプラヤー河の河口周辺、つまりチャオプラヤー河＝ナン川間（130.7km）のシャム湾沿いの海底土砂も船の往来にとって危険であるため、交通省は毎年のように開墾作業を行なっている。85年のその作業には7億1270万パーツもかかったといわれる。このような河川への土砂の堆積は、チャオプラヤー河や河口周辺の問題だけでなく、例えば東北部のムーン川の沈殿土壌はウボン地点での観測で毎年220万トンに上り、チー川の支流ラムパオ川で4万トン、ムーン川支流のラムターコン川で6万トン、といわれている。

プーミポン・ダムは1965年に完成し、ダムの貯水容積は122億 m^3 であった。設計段階では、100年間の堆積土砂は5億1200万 m^3 と見積もられ、土砂の堆積によって使用不能になるまでには、さらに700年かかるとされていた。しかし、1981年、完成後わずか8年で堆積した土砂は1億7500万 m^3 にも達した。これは、年平均2200万 m^3 の土砂が堆積したことになる。したがって、もしこのペースで堆積が続くなら、100年かかると見積もられた5億1200万 m^3 まで、わずか23—24年で到達する。森林破壊による土壌流亡が、この間、いかに激しかったかを物語っている⁵¹⁾。

以上のほかにも、③土壌流失による地下浸透力の減退と洪水の多発、④ナコンサワン県ブンボンベットにみられるように湖沼への土砂流入による氾濫・レクラクション場所の破壊、⑤堆積土砂が排水を妨げることにより、各種の蚊の発生と住民の健康問題、⑥リルやガリーの形成による農作業の困難など、多くの問題が生じるようになる。

われわれは上来より、急激な森林破壊による傾斜面の耕地化・裸地化が、水蝕による土壌流亡を引き起こし、地域の経済と社会に様々な被害を及ぼすことを指摘してきた。森林破壊にともなう土壌侵蝕はまた、地域の砂漠化の危険を拡大し、それらは複合して太陽放射に対するアルベドを変え、熱と水の循環を

51) “Kan Chalang Phangthalai khong Din.” in *Kan Pongkan Kan Chalang Phangthalai khong Din*. Krom Phatthana Thidin. [「土壌侵蝕」『土壌侵蝕の防止』土地改良局] 1984/85, p.83.

も変化させる。これらの地表面の激変は、動植物の棲息や分布も変化させ、生物圏のシステムに攪乱をもち込む。こうして、地表面の変化や生物圏の攪乱は気候システムにも影響を及ぼすが、気候の攪乱は逆にバイオスフェア・システムの破綻を拡大して人類の生存環境そのものを危機に陥れる。そこで、次に生物圏と気候の問題にもふれてみることにしよう。

4. 旱魃と洪水

われわれはこれまで、森林破壊にともなう塩類の集積と土壌侵蝕に刮目し、砂漠化の危険について指摘してきた。しかし、森林破壊と砂漠化という地表面の激変は、地表だけの変化にとどまらず、日射の反射率の変化や、土壌水分や地表面の粗さの変化などを通じて大気の循環にも影響を与え、気候の乾燥化をすすめる一因ともなる。そして、気候の乾燥化は降雨量の減少をもたらし、地表面の砂漠化を逆にいっそう進める。本節では、こうした大気と地表面との、植生を介した相互のフィードバック機構や、大気と海洋の相互作用の結果としてのエルニーニョ現象にも注目しながら、タイにおける異常気象＝旱魃の問題を考えていくことにする。ただし、この問題は、本来、気象学の領域のテーマであり、われわれの守備範囲を遙かに超えるものである。ここでは、熱帯気象学の成果に学びつつ、論点開示の意味合いで取り扱うにすぎない。

なお本節のもう一つの課題は、森林破壊と洪水問題について検討してみることである。というのは、森林破壊のすすむ東北タイにおいて、洪水問題は旱魃と並んで深刻な災害問題となっているからである。ここでは、旱魃と洪水は決して相対立する現象ではなく、水不足と水過剰を共に引き起こし、農村の貧困化の基因となっている。その意味で、東北タイの水文環境を、洪水発生 の側面から観察しておくことが重要だろう。

4.1. 気候システムと旱魃

4.1.1. 降雨量の傾向的低下

(1) サイアム環境問題協会のスラポン・スターラーは、世論の関心が南部の洪水問題に集中した1989年の年初に、洪水問題だけでなく旱魃問題にも注意を

はらうよう警告したことがある。実際、この年の早魃は例年になく厳しく、かつ広範囲にわたるものであった⁵²⁾。この年、早魃に襲われた東北部の諸県は、ブリーラム、シーサケート、ナコンラーチャシーマーなど南の諸県と、ナコンパノム、ノンカーイなど北東の諸県など、合せて11県にもものぼった。ブリーラム県のポーン・ウドムポン知事は、同県では260カ村が深刻な飲料水の不足に悩んでいること、1月から40台の給水車を緊急に派遣し給水活動を行なわせているものの、配水しきれない状況にあること、を明らかにした。同県には「東北タイ緑化計画」に基づき、バンコクから200個以上の雨水備蓄タンクが送り届けられたが、雨が降らないために利用できず、放置されたままになっている。また、スリン県では、「水は金である」といわれ、行商人が村から村へ水を売りに歩き、2000ℓの水が170パーツで売られている。内務省もスリン県の援助に乗り出し、1500万パーツにのぼる早魃救済計画の実行を認めた。また、チャーチャイ首相も自ら東北タイの視察に出かけ、閣議でも毎週、東北タイの早魃問題が討議されているという。そればかりか、4月8日には東北行政の中心地、コーンケーン市で閣議が開催され、早魃救済用に3億パーツの緊急予算が振り向けられることになった。このように、例年のことながら、東北タイの早魃問題は深刻さの度合を深めている。

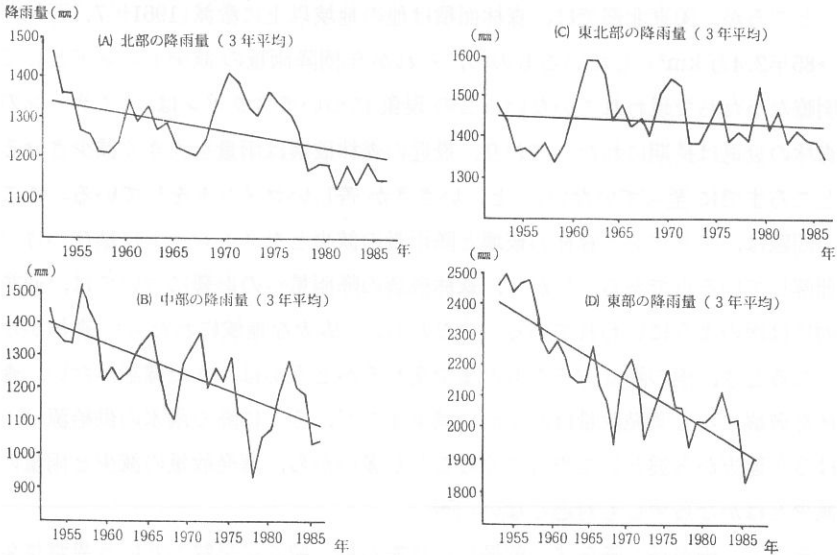
(2) ところで、さきのスラポンは、過去30年間の降雨量の推移を整理し、森林破壊との関わりを強調している。そこで、スラポンの作成した図2—15によりながら、彼の解説を紹介しておこう⁵³⁾。

まず、①北部について見れば、地域の年間平均降水量は、1955年の1325mmから85年には1200mmへ、100mm以上も減少している。このような降水量の

52) Pimporn Tuntayanusorn. "Severe drought wreaking havoc in Northeast." in *The Nation*. February 27, 1989.

53) Suraphon Sudara. "Ya mua kangwon chapho Namthuum Ruang Pa kiaokhong kab Fonlaeng duoi." in Sathaban Wijai Saphawawaedlom, Chulalongkorn Mahawithayalai, *Saphawawaedlom*, [スラポン・S「洪水ばかり心配するな、早魃と森林破壊の問題も心配せよ。」チュラロンコーン大学環境問題研究所「環境問題」] Vol. 8 No. 1, 1989, pp. 39—45.

図2-15 森林破壊と降雨量の推移



(出所) Snraphon Sudara, "Ya mua kangwon chapho Namthuum, Ruang Pa kiaokhong kab Fonlaeng dnoi" (「洪水ばかりを心配するな。旱魃と森林破壊の問題も心配せよ。」) in *Saphawawaedlom*. (『環境問題』) Vol 8, No1, 1989

傾向的な低下は、スラポンによれば、この間の森林面積の壊廃に起因するものであるという。つまり、北部の森林面積は、1961年には12.2万 km^2 もあり、それは地域面積の69%にも上っていたが、25年後の1985年には8万4126 km^2 (地域面積の50%) にまで後退した。この林地の後退が地域の降雨量の減少に影響したのだと考えている。また、②中部でも森林面積が61年の3万5660 km^2 (地域面積の52.9%) から85年の1万7226 km^2 (同25.6%) へ激減し、降水量も同様に55年の1400 mm から85年の1100 mm へと減少した。さらに、③東部は、森林破壊と降水量の減少について最も注目すべき地域である。つまり、この地域の森林壊廃率の異常な高さについてはすでに観察したごとく、61年の2万1163 km^2 (地域面積の58%) から85年の7990 km^2 (同21.9%) へと、林地の激減をみている。それに対応して降水量の減少も劇的であり、55年の2500mm

から85年には1900 mm の水準にまで大きく落ち込んでいる。

ところが、④東北部では、森林面積は他の地域以上に激減(1961年7.1万 km² →85年2.4万 km²) しているものの、それが年間降雨量の減少トレンドとして明瞭なカタチで現われていない。この現象についてスラポンは、「イサーンの森林の衰退は長期にわたっており、最近の森林破壊は雨量を大きく減少させるところまでに至っていない。」と、いささか苦しいコメントをしている。ここで問題は、スラポンが森林の破壊と降雨量の減少とをストレートに結びつけて理解している点である。しかし、森林破壊の降雨量への影響については、通説的には次のようにいわれている。すなわち、「広大な地域にわたって森林がなくなると、雨の降り方そのものまで変わるかどうかは、まだ確証がない。森林を破壊すると蒸発散量はたしかに減少するが、そこに降る雨水の供給源は、はるか遠方から雲としてやってくることが多いから、蒸発散量の減少と雨量の減少とはかならずしも対応しない。」⁵⁴⁾

そこで、雨が長く降らず、乾燥した状態が長く続く<早魃>という異常気象を観察する場合、まず気候とは何か、気候を構成する要因とは何か、ということを理解しておかなければならない。

4.1.2. エルニーニョ現象と少雨——大気と海洋の相互作用——

(1) 気候とは、一年を周期として繰り返す大気の総合状態のことである。しかし、気候は大気自身の運動だけによって決定されるわけではない。大気の運動とは、太陽の放射エネルギーを最も受けた熱帯域から極域の冷源に向けて南北の温度差を解消しようとして動く過程のことであるが、この大気の流れを決める熱源にしても、大気自身が太陽放射から直接受け取る量は多くない。大気を動かす原動力としての熱源は、地面や海面が暖められて蒸発した水蒸気が凝結し雲をつくるときに放熱する潜熱に依存している。したがって、大気の総合状態としての気候は、次のような要因とシステムにおいて理解されなければならない。「地球は太陽放射を受け取り赤外放射として宇宙空間に放出する。そ

54) 吉良竜夫「森林と地球環境」只木・吉良編・前掲書、308頁。

の間に大気、海洋、陸地のなかでエネルギーが様々に形を変えながら流れ、気象、地象、水象にいろいろな出来事をつくる。物理的特性の違いから大気、海洋、陸地に大別されるが、それぞれは熱、運動量、物質の交換により互いに影響を及ぼしあっている。その程度は大気と海洋、大気と陸地の接する表面の状態に大きく影響される。]⁵⁵⁾この「表面の状態」は、海氷、雪、植生などによって左右され、これらは、熱・水蒸気・運動量・物質の相互交換の程度に影響を与える。したがって、気候は大気、海洋、陸地、雪氷圏、生物圏の相互作用システムとして、つまり〈気候系〉として把握されなければならない。

それゆえ、こうした気候系の異常状態を示す早魃現象は、その作用因子の一つにすぎない森林植生だけから説明できないのは当然である。とくに、気候系内の相互作用を観察するさい、海洋の気候形成力に注目しなければならない。というのも、さきの図2-15に図示された各地の降水量の異常低下は、大気と海洋の相互作用としてのエルニーニョ現象と密接に絡み合っているからである。日本の気象庁が同定したエルニーニョ現象は、1950年以降、10回あり、その発生年は51年、53年、57年、63年、65年、69年（ないし68年）、72年、76年、82年、86年であった。これらのエルニーニョ現象年とタイ各地の早魃年とがほぼ対応していることは、図2-15から明らかである。そこで、大気と海洋の相互作用現象としてのエルニーニョについて瞥見しておく必要があるだろう。

(2) ただし、その前に、雨をもたらず大気のシステムについて再確認しておこう。赤道付近には、下層から上層まで高温多湿の大気の塊である〈赤道気団〉が分布している。この赤道気団の南北両半球の境界では、北半球の北東貿易風と南半球からの南東貿易風とが収束している地帯＝赤道前線があり、熱帯収束帯 (I. T. C. Z.) と呼ばれる。この南北両側の I. T. C. Z. に挟まれた赤道気団は、うちに積雲群＝スコール・ラインを孕みながら、北半球の夏には太陽とともに北上し、冬には南下する。タイでは、5月に入ると、この I. T. C. Z. の北端がかかり始めマンゴー・シャワーの季節となる。そして7月には赤道気

55) 気象庁編『異常気象レポート 89——近年における世界気象と気候変動』1989年、152—153頁。

団に完全に覆われ、偏西風（インド・モンスーン）が吹いて本格的な雨季になる。ただし、スコール・ラインは通常約40日の周期で発生と消滅を繰り返すとされている。しかも、それは常に軸赤道で生れては熱赤道に北上するとされている⁵⁶⁾。

モンスーンのメカニズムを取敢えずこのように理解するなら、タイにおいて早魃を引き起こす要因は次のように考えられる。つまり、I. T. C. Z. に挟まれた赤道気団がタイを覆うまで十分に北上しなかったか、あるいは I. T. C. Z. は北上したがスコール・ラインが不活発で少雨におわったか、またはその両方であったか、ということである。いずれの要因が規定的なのか、気象学者ではないわれわれは判断する材料を持ちあわせないが、肝心な点は、このような異常状態を引き起こす原因は何か、ということである。早魃という大気の状態は、大気自身の運動に基づく内部要因に起因するよりも、外部要因との相互作用、とくに海洋と大気との相互作用のなかで考えられなければならない。

そこで、熱帯海洋の大気に及ぼす影響を考えるさい、次の2点を理解しておく必要があろう。まず、①海洋の気象形成力の問題である。「海洋のもつ全熱容量は大気のそれに比べて約1000倍も大きい。…このような熱容量の違いから、海洋は熱の貯蔵庫として働き、大気との熱の交換を通して、大気の運動を支配している。」とくに「赤道域はもともと海面水温の高い場所で、海面からの蒸発量が中・高緯度域に比べると格段に大きい。…「海面水温が」28°Cをこえると、わずかな水温上昇が飛躍的な蒸発量の増加をもたらし、熱帯域での対流活動が著しく盛んになる。…対流活動にともない、大気中の水蒸気が凝結して雲ができる。このとき大気中に潜熱が放出され、熱帯域が大気を駆動するエネルギー源となる。熱帯域における熱源の分布の変化は大気循環を大きく変

56) スコール・ラインの周期については、Tetsuzou Yasunari, "Structure of an Indian Summer Monsoon System with around 40-day Period." in *Journal of Meteorological Society of Japan*, Vol. 59 No. 3, pp. 336-354. を参照。なお、専門外の者にはやや難解だが、新田勅『熱帯の気象』東京堂出版、1982年、村上多喜雄『モンスーン』東京堂出版、1986年、が参考になる。

えてしまう。⁵⁷⁾しかも、「海洋は大気に比して大きな慣性を持ち、…ひとたび動き出すと『止まらない』性格の持ち主であり、忘れた頃に広範囲で長期にわたる影響を大気に与えることができる。」⁵⁸⁾

逆に今度は、②大気→海洋の作用力の問題である。「赤道域では、地球自転の効果が海洋の運動に与える影響が小さく、風の応力が直接的に海流を駆動する。すなわち大気の変化に海洋が敏感に反応し、中・高緯度域に比べて大きな運動が生じる。この運動によって海面水温の分布が変化すれば、その変化に対して大気も敏感に反応する。」⁵⁷⁾つまり、大気は風を通じて海洋に働きかけ、熱源である海洋を運動させ、冷・熱源分布を変化させることができるのである。

要するに、大気の変化(風の応力の変化)→熱帯域の海流の変化=海面水温の分布の変化→対流活動の場所的变化=熱源の分布の変化→大気循環の変化、という相互作用により、世界の気候がインパクトを受けるということである。

(3) さて、以上の諸点をふまえて、エルニーニョ現象を説明してみよう⁵⁹⁾。図2-16のように、赤道付近の太平洋では、通常、西太平洋の方が高温で、東太平洋は逆に低温という、海面水温の分布がみられる。つまり、東風の貿易風によって赤道海流が生じ、暖水が太平洋の西部に運ばれる。これに対して、東部のエクアドルやペルーの沿岸では、流れ出した海水を補うために南から寒流のペルー海流が流れ込んでくる。しかも、中央部から東部にかけての赤道域では、地球の自転に起因する南北に分かれる流れがあり、その間隙を埋めるために下層から赤道湧昇と呼ばれる冷水の上昇現象が生じている。この結果、西部では厚い暖水層が形成され、東部では薄くなる。そのうえ、海面水位は西部の方が東部より40cm程度高くなるといわれる。こうして、海面水温の高い西太平洋では大気の対流活動が活発となり上昇気流が生じるのに対して、東太平洋では低水温のゆえに対流活動は起こりにくく、下降気流が生じる。

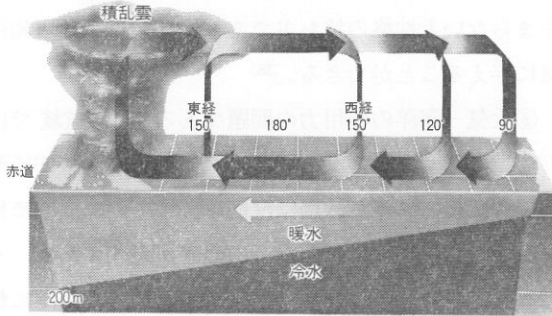
57) 気象庁編・前掲書、194-196頁。

58) 浅井富雄『気候変動』東京堂出版、1968年、115頁。

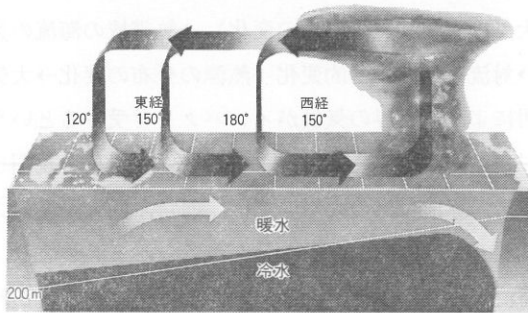
59) エルニーニョ現象の解説については、浅井富雄・同上書、6章や、気象庁編・前掲書、第4章のほか、朝倉正編『知っておきたい異常気象』大蔵省印刷局、1987年、第4章、『Newton』別冊<地球クライシス>教育社、1989年、などを参照。

図2-16 エルニーニョのしくみ

(1) 普通の年の大気と海洋



(2) エルニーニョの年の大気と海洋



(出所) 住明正「エルニーニョの年に各地で異常気象がある」*Newton*別冊『地球クライシス』1989年8月。76—77頁

しかし、暖水層を太平洋の西部に吹き寄せていた貿易風が何らかの理由で弱まれば、暖水層は東に移動する。こうした海面水温の分布の変化は大気にフィードバックされ、西風が吹き始める。西風が吹けば暖水層はますます東に押し流され、中部～東部太平洋の海面水位を平年より15cm程度引き上げる。海面水温も平年より1～5℃も上昇する。こうして対流の中心が東にずれ、エルニーニョ現象が発生する。エルニーニョ現象の多くは3～5月頃に始まり、その後次第に発達してその年の11～12月から翌年の1月頃にかけてピーク期を迎え、4～6月頃に終息する。要するに、熱帯域での海水温度分布の変化（東部で平年より1～5℃上昇、西部では0.5～1℃低下）が大気循環の変化を引き起こし、雨の降る地域を変えるわけである。とくに、いつもは雨の少ない

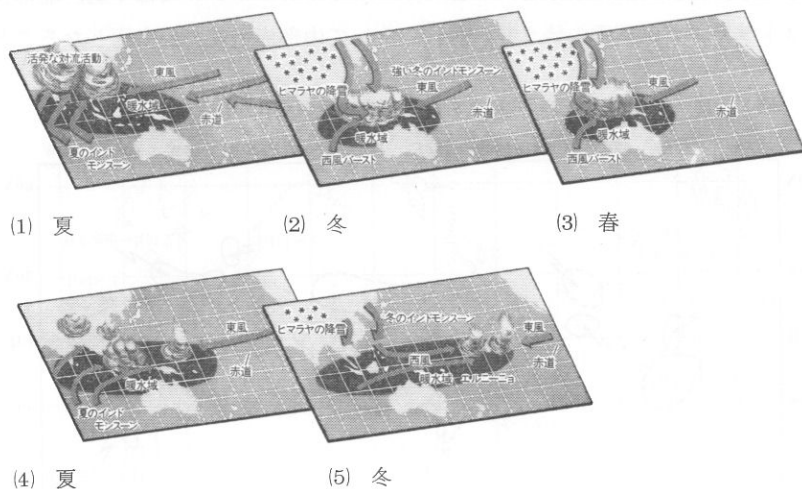
タイの森林破壊と生態系の攪乱(Ⅲ)

中部太平洋や南アメリカ西岸で洪水が発生し、逆に雨の多いインドネシアやマレーシアで早魃が襲うことになり、世界各地で異常気象が発生する。

それでは、海洋と大気の相互作用過程としてのエルニーニョはどのようなメカニズムで発生するのだろうか。最近の熱帯気象学では、この海洋と大気の相互作用過程をインド・モンスーン(西南モンスーン)と結びつけて説明されるという。ここでは、このメカニズムを平易に解説してくれている松野太郎の図解を援用しておこう⁶⁰⁾。そこで、図2-17を参照されたい。

①夏にインド・モンスーンの強い年には、それに引き寄せられて強い東風が吹く。この結果、西太平洋の海域に暖水層が吹き寄せられる。②それに続く冬には、この暖水域に向けて北西の季節風が強くなり下ろし、チベットからヒマラヤにかけて多量の雪を降らせる。しかも、その季節風がときどき赤道付近に

図2-17 エルニーニョとインドモンスーン



(出所) 松野太郎「何が地球の気候を決めるのか?」Newton 別冊『地域クライシス』1989年8月 114~115頁。

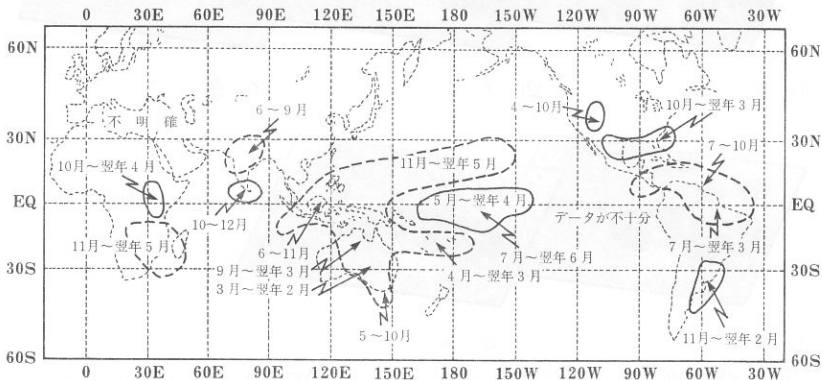
60) 松野太郎「何が地球の気候を決めるのか?」『Newton』<地球クライシス>教育社、1989年、112-115頁。なお、安成哲三・藤井理行『ヒマラヤの気候と永河』東京堂出版、1983年も参照。

まで吹き出すため、それに引きつけられて西風バーストと呼ばれる風が発生する。③西風バーストによって暖水が東に広がるチャンスが生れるとともに、西南モンスーンがチベットの降雪により出遅れ、しかも勢力も弱くなる。④夏の西南モンスーンの勢力が弱いと、東風も弱まり、西風が入りやすくなる。⑤モンスーンが終った秋から冬にかけて中部太平洋上で西風バーストがしばしば発生し、暖水域が東にむけて移動する。こうして海面水温の分布が変化し、エルニーニョ現象が発生する。これが、エルニーニョ発生メカニズムである。

以上の解説では、海洋と大気だけでなく、アジア大陸と雪氷圏の要因も組み込まれており、大気・海洋・陸地・雪氷圏の状態すべてを一体のシステム=気候系として異常気象を説明している。このことは、タイの異常気象を観察する場合でも、重要な視点として生かされなければならない。

さて、エルニーニョ現象による降水量の変化はどの地域において顕著に現われるのか。図2-18によると、ニューギニアやインドネシアでは旱魃、北部オーストラリアでは雨季の始まりの遅れ、そして中部赤道域では多雨となること

図2-18 エルニーニョ現象にともなって降水量の変化が顕著に現われる地域



(出所) 気象庁編『異常気象レポート'89』1988年, 213頁。ただし, 原資料は, Ropelewski, C. F., & M. S. Halpert, "Global and Regional Scale Precipitation Patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation" in *Monthly Weather Review*. No. 115, 1987, pp. 1606-1626

(注) 実線は多雨, 破線は少雨を表わす。

が明らかである。同図では、タイは降水量に顕著な変化が現われる地域に含まれていないが、エルニーニョ現象年にはインド・モンスーンの活動が不活発となり、東南アジアでは少雨になることが知られている。また、対流活動域が日付変更線付近に移動することによって、赤道気団と I. T. C. Z. の北上や、スコール・ラインの活動にも影響が生じるものと思われる。さらに、台風の発生域も、通常年の南シナ海やフィリピン沖からマリアナ諸島の東海域へと変化し、それにともなって台風の経路も「フィリピンを横断する台風が少なくなり、南シナ海や東シナ海に向かう台風が少なくなる。一方、マーシャル諸島からマリアナ諸島にかけての海域と、小笠原諸島や鳥島近海を通過する台風が多くなっている。」⁶¹⁾タイに降雨をもたらすシステムについてはすでに図 1—1 で図解したように、インド・モンスーン（西南モンスーン）や台風の役割が大きだし、動気候学的には I. T. C. Z. の北上とスコール・ラインの活動に左右される。エルニーニョ現象年には対流活動域が東部太平洋にずれることにより、タイは、モンスーンの活動の不活発化や台風の経路からの外れといった現象に直面する。ともあれ、タイにおいて雨をもたらす仕組みがエルニーニョ現象によって攪乱されることは、エルニーニョ現象年における異常少雨（図 2—15 参照）によって窺うことができるが、しかしこの問題についての本格的な解析とデータの蓄積は、タイの気象学にとって今後の課題であろう。

4.1.3. 森林破壊と大気——地表面の状態（植生）と大気——

(1) 以上、タイの異常気象も地球的規模での大気と海洋の相互作用過程として捉えることが重要だということである。しかし同時に、気候系内における大気と陸地との相互作用、とくに「大気と陸地の接する表面の状態」を決定する森林植生の被覆状態の問題も見逃すことはできない。レスター・R・ブラウンは次のように述べている。「従来の見解は、あまりにも伝統的な気象学者のモデルや手法に頼りすぎているきらいがある。現在では、気象学とともに農学・生態学・水文学等を含むいくつかの分野から関連する情報を引きだし、それら

61) 気象庁編・前掲書 .225頁。

を組み合わせると人間の活動に起因する地域的な気候変化が…進行しているという仮説を立てることも可能である。』⁶²⁾ブラウンは、こうした視点から、ブラジルのマナウスにある国立アマゾン研究所の降水調査を援用し、森林破壊と水循環とが密接に関連することを強調する。

「中央アマゾンの代表的な地域では、水の約4分の1が直接的に蒸発し、2分の1近くが植物からの蒸散という形で大気中に帰っていく。これを合わせると、直接的な蒸発と蒸散という形で降雨量の4分の3が大気中に帰っていき、残りの4分の1が流出となり大西洋に戻っていく。」熱帯雨林は、rain machinesと呼ばれるように、巨大な蒸散能力によって雨雲を補充する仕組みをもち、地域の水収支を規制しているというわけである。「しかし、森林が伐採されると、この比率が逆転する。すなわち、降雨量の4分の1のみが大気中へ帰り、4分の3がただちに大洋に流れ去ってしまうことになる。いずれ雨になるべき湿気が大気中にあまり含まれないと、その地域の降雨量はそれだけ減少する。直接的であれ間接的であれ蒸発による雨雲の補充が内陸部での主要な降雨の源になるので、この減少傾向による変化は海洋からの距離に比例して増幅される。』⁶³⁾このような熱帯雨林の rain machines としての機能は、アマゾンだけに限らず他の地域においても同様なはずである⁶⁴⁾。

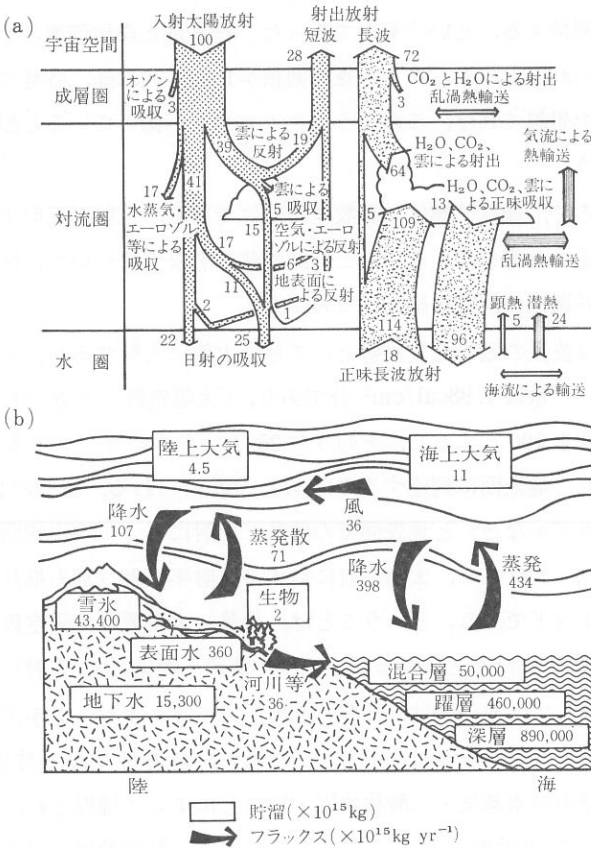
ここで、地球的規模での水循環について少し振り返ってみよう。図2-19(b)に図示されたように、海洋から蒸発した水蒸気 $434 \times 10^{15} \text{kg/年}$ は $398 \times 10^{15} \text{kg/年}$ の降水量を海洋に返すが、残りの $36 \times 10^{15} \text{kg/年}$ は海洋から陸上への風に運ばれ、陸上からの蒸発散量 $71 \times 10^{15} \text{kg/年}$ と一緒に、陸上に $107 \times 10^{15} \text{kg/年}$ の降水をもたらす。このように、陸上の降水量にとって、海洋から補給される水の役割は大きい。しかし、水蒸気の大気中での滞留時間はわずか10日とい

62) レスター・ブラウン「環境破壊を見極める」『地球白書』85年版、福武書店、1986年、第1章、12頁。

63) レスター・R・ブラウン、同上書、13-16頁。

64) 水循環全般については、武田喬男『水循環の科学』東京堂出版、1987年など、参照。

図 2-19 大気・海洋・陸地系におけるエネルギー収支(a)と、水収支 (b)



(出所) 浅井富雄『気候変動』東京堂出版, 1988年 P.57より。

(注) 入射太陽放射を100とする。各貯溜量を長方形内に示し、フラックスを矢印で示す。

われる。したがって、海洋からの距離に比例して風に運ばれる水量は減少するはずであり、内陸部ほど陸上からの蒸発散による「雨雲の補充」が必要となるだろう。

このように考えるなら、さきのスラポンの指摘の重要性が生き返ってくる。彼の趣旨は、森林が伐採されると、森林の蒸散作用と水源涵養能力がなくなり、降雨は直ちに流出するため、河川の水量が増加するかわりに蒸発散量は大

幅に減少する、この結果、地域の水循環における水量自体が減少して平均降雨量の減少に帰結する、というものであった。降水量と森林破壊とを短絡している難点が見られるものの、タイの森林面積が1960年代以降、各地で急減してきていることを想起すれば、このようなメカニズムが働いていると想定することも可能だろう。

(2) ところで、森林破壊は、蒸散作用だけでなく、日射の反射率の変化を通じても降雨量に影響を与える。そこで、地球の熱収支について、図2—19(a)を利用し、浅井富雄の解説を紹介しておこう。

太陽放射は波長の短い短波放射として地球大気に入射するが、大気上端での太陽エネルギー量は $1.98\text{cal/cm}^2/\text{分}$ であり、「太陽定数」と呼ばれる。いま、この太陽定数を100とすると、そのうち25は大気中のオゾン・水蒸気・雲などに吸収され、地表面に到達するのは47と見積もられる。残りの28は、大気（雲、エアロゾルなど）と地表面での散乱・反射によって宇宙空間に放出される。この地球＝大気系の、太陽放射に対する反射率0.28（別の推計では0.30）が地球のアルベドである。ということは、地球＝大気系は太陽定数の72%のエネルギーを吸収したことになる。しかし、地球＝大気系は入射した太陽（短波）放射に対して、逆に地球（長波）放射としてエネルギーを宇宙空間に射出し、熱収支のバランスを保っている。すなわち、地表面での長波放射は114であるが、大気中の水蒸気・二酸化炭素・雲などによって捕捉され、うち96が地表面にむかって逆放射される。これがいわゆる「温室効果」である。このため、地球表面の正味長波放射はわずか18となり、結局、太陽の短波入射量47からその18を差し引いた29が地球表面の正味の吸収エネルギー量となる。一方、大気は、地表面からの長波放射のうち正味の吸収量はわずか13であるが、宇宙空間へ67も放出し、結局54のマイナスとなる。ただし、太陽（短波）放射の吸収量25があるから、大気の放射収支は29の赤字にとどまる。とはいえ、放射エネルギー収支において、地球面が29の黒字に対して、大気は29の赤字であるから、地球が加熱されるのに対して大気は冷却されることになる。かくて、熱分布のこのような不均衡は、地球表面から大気への熱補給によって均衡されなけ

ればならない。

この均衡過程において大きな役割を果たすのが、水の循環である。水は、暖められた地面や海面から水蒸気として蒸発し、集まって凝結して雲をつくる。この凝結するとき潜熱放出を起こし、大気に熱を与える。大気は、雲から与えられた熱源を原動力として運動を開始する。こうして、雲は、太陽（短波）放射の吸収と反射、長波放射の吸収と射出とともに、潜熱放出を行なうことによって、地球の熱収支において決定的な役割を果たす。換言するなら、「水は地球大気で観測される気温の変動幅内で液相や固相へと容易に相変化することによって、蒸発—雲の形成—降雨・雪—流出という一連の水循環過程を通して熱エネルギーを再配分し、大気—海洋—陸地間の結合を強めている。」⁶⁵⁾

さて、エネルギーと水の循環を以上のように理解すれば、生物現象や気象現象の熱源として利用される放射量がアルベドによって左右されるということが明らかである。地球＝大気系の平均的アルベドは、すでに見たように28～30%であった。しかし、アルベドは地表面の光学的特性を表わすものであるから、植生などの地表面の状態によってそれは変化する。たとえば、表2-9のように、雪氷のアルベドは80～90%、砂漠30%、牧草地15～25%であり、これに対して森林のアルベドは5～10%と低い。ということは、太陽エネルギーの吸収量は、裸地では森林よりアルベドが高いため少なく、森林では逆に大きいことになる。つまり、アルベドの違いが吸収される太陽エネルギー量の大きさを決定するわけである。その結果、森林で被覆された地域では上昇気流が生じて雨が降りやすくなるのに対して、森林が破壊された裸地では<沈降>と呼ばれる現象が生じて雨の降り方が変わる。「沈降とは地表の熱バランスを

表2-9 種々の面のアルベド (%)

森	林	5~10
草	地	15~25
畑	地	10~25
裸	地(湿)	5~20
裸	地(乾), 砂地	20~30
新	雪	75~90
旧	雪	50~70
水	面(太陽高い時)	2~5
	雲	50~80
地球の平均		30

(出所) 浅井富雄, 前掲書, P.111.

65) 浅井富雄・前掲書, 57頁。

維持するために、より高いところから空気が降下するが、その大規模な空気の移動のことである。降りてくる空気は乾燥しているので雨量が減少する。1970年代半ばに初めて観察されたこのプロセスの帰結は、ひとたび砂漠化が始まると自己増強的になり、この現象に拍車がかかるといことである。]⁶⁶⁾要するに、森林破壊は少雨をもたらし、少雨は裸地を拡大するが、裸地は逆にますます少雨をもたらす、という「正のフィードバック」のメカニズムが作用することを意味する。

地面アルベドの増加効果は、それだけにとどまらない。J. G. チャーネイは、アフリカの北緯18度以北において、地面アルベドが砂漠状態の35%のときと、森林状態の14%のときとの、夏季の降水量の比較を行なっている。そして、「地面アルベドが大きいときには、熱帯収束帯が北上出来ず降水量が減少する」ことを明らかにした⁶⁷⁾。このようなことが東南アジアにおいても作用するのかどうか不明であるが、もし地面アルベドの増加効果が、赤道気団と I. T. C. Z. の北上やスコール・ラインの活動に作用するなら、タイの急激な森林破壊は東南アジア規模において大きな影響を及ぼすことになる。

ここで、東北タイの土地利用を示す表2—10を掲示しておこう。換金畑作物の比重の大きいナコンラーチャシーマーやウドンターニ、荒蕪地の大きなウボンラーチャターニーなど、各県によって土地利用の構造に違いが見られる。しかし、東北タイ全体では、森林面積2万5316 km² に対して、アルベドの高い換金作物・菜園・牧草地・荒蕪地の面積は2万3052 km² となり、両者はほぼ拮抗している。したがって、土地利用の時系列的推移については不明だが、森林破壊と耕地化、耕作放棄と荒蕪地化の進行により、地面アルベドの上昇が推測される。

ともあれ、森林破壊という地表上の変化が蒸発散作用とアルベドの両面に影

66) レスター・R・ブラウン、同上書、15頁。

67) 気象庁・前掲書、175頁、J. G. Charney. "Dynamics of deserts and drought in the Sahel." in *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*. Vol. 101, pp. 193—202.

(単位: km²)

表2-10 東北タイの土地利用 (県別) 1987年

県名	総面積	森林	住宅地	水田	換金作物	果樹園	菜園	牧草地	荒蕪地	その世	分類不能
Zone 1											
Nakhon Phanom	5,512.7	659.0	61.0	1,496.0	186.8	34.3	8.5	16.7	161.5	32.1	2,856.8
Sakon Nakhon	9,605.8	1,775.9	80.9	3,022.8	457.9	65.7	4.1	32.4	460.9	32.4	3,672.8
Nong Khai	7,332.3	845.8	59.5	2,209.8	940.0	37.1	15.1	17.1	316.4	39.3	2,852.2
Udon Thani	15,589.4	2,509.2	121.6	5,101.8	1,928.1	84.6	9.7	49.8	240.4	114.7	5,429.5
Loei	11,424.6	3,674.1	58.1	806.3	2,070.2	25.9	3.1	4.2	3.8	51.2	4,727.7
Mukdahan	4,339.8	1,122.9	19.2	607.1	106.2	45.8	2.9	19.9	68.6	12.3	2,334.9
Zone 2											
Yasothon	4,161.7	542.9	40.3	1,900.3	341.3	43.4	9.1	3.0	170.1	34.0	1,077.3
Ubon Ratchathani	18,906.1	4,105.2	118.3	6,549.3	810.6	87.3	15.2	83.0	1,151.6	114.2	5,871.4
Zone 3											
Kalasin	6,946.7	991.8	90.9	2,373.2	775.8	26.7	4.3	11.4	134.4	22.9	2,515.3
Khon Kaen	10,885.9	1,162.6	113.9	4,415.3	1,684.1	50.7	9.5	33.9	75.6	91.3	3,249.0
Maha Sarakham	5,291.7	156.0	74.2	2,947.0	685.8	43.6	5.1	82.0	49.9	16.0	1,232.1
Roi Et	8,299.5	314.0	136.4	4,602.1	338.2	57.8	3.5	43.2	85.9	22.7	2,695.7
Zone 4											
Buri Ram	10,321.9	704.3	102.6	5,021.4	640.2	47.8	6.2	4.7	137.9	77.0	3,579.8
Si Sa Ket	8,839.9	956.7	67.0	4,358.4	649.9	71.1	13.6	2.4	75.6	37.5	2,607.7
Surin	8,124.1	403.9	96.2	4,615.5	307.4	50.3	2.8	3.3	49.4	44.4	2,550.9
Zone 5											
Chaiyaphum	12,178.3	2,427.0	86.6	2,669.7	1,580.3	68.7	3.3	42.9	235.2	230.0	5,434.6
Nakhon Ratchasima	20,493.9	2,964.3	192.7	5,825.8	4,860.7	142.6	29.6	251.7	424.1	183.5	5,618.9
計	168,254.3 (100.0)	25,315.6 (15.0)	1,519.4 (0.9)	58,521.8 (34.7)	18,363.5 (10.9)	983.4 (0.6)	145.6 (0.1)	701.6 (0.4)	3,841.3 (2.3)	1,155.5 (0.7)	58,306.6 (34.5)

(出所) Kong Anurak Din lae Nam, *Phaenmaebot, Nganwijai Kan Anurak Din lae Nam*. [土地改良局・土壌保全部

「マスター・プラン, 土壌と水の保全についての研究」1987, pp.153~154より作成。

響を与え、降雨量の変化を引き起こすことは間違いないだろう。こうした人間の活動に起因する大気と陸上との相互作用系の変化は、気候系の構成要因として異常気象を引き起こし、人間の生存環境じしんの破壊に帰結することになる。

4.2. 東北タイの水文と洪水

(1) 森林破壊は水分の発源・集積場所を壊滅し〈早魃〉を引き起こすが、それだけでなく森林の水源涵養能力をも奪い、〈洪水〉を招来する。東北タイは地表水の流出によって慢性的な水不足に悩んでいるが、その一方で雨季の末期に河川が急増水し、洪水の被害にも見舞われる。そこで、本項では、洪水を引き起こす東北タイの水文環境について整理し、〈森林破壊と生態系の攪乱〉問題の、もう一つの側面を観察しておきたい。

まず、東北タイの降雨の特徴からみていこう。コーラート高原は、シャム湾に向けてオープンしている中部デルタと異なり、西側と南側は山脈によって囲まれ、北東側もメコン河の背後のアンナン山脈によってクローズされている(図2-3参照)。このため、東北部の気候は同じサバンナ気候であっても、他地域と比べてやや大陸的な特徴をもっている。つまり、ペッチャブーン山脈とパノム・ドン・ラック山脈が西南(夏季)モンスーンに対して衝立の役割を果たし、東北部の西部地域に「雨影」地域をつくりだす。反対に、メコン河の背後のアンナン山脈沿いには激しい降雨をもたらす。その余瀝がノーンカーイからナコンパノムにかけての北東部地域にも及ぶ。冬季の偏東風の時期には、逆にアンナン山脈が「雨影」地域となることから、コーラート高原の西側と南側の山脈沿いにくらかの追加的な降雨をもたらす。ここで、降雨量によって東北部を地域区分すれば次のようになる。

①西側のペッチャブーン山脈とその裾野地域(ルーイ、チャイヤブーム、ナコンラーチャシーマーの諸県)は最も乾燥した地域であり、平均年間雨量は1146.1mmである。②南側のパノム・ドン・ラック山脈とその裾野地域(シーサケート、スリン、ブリーラムの諸県)もやや乾燥した地域であり、平均年間

雨量は1276.7mmである。③メコン河流域の地域（ノンカーイ、ナコンパノム、ウドンターニー、サコンナコン、ムクダハーン、ウボンラーチャターニー諸県）は最も降雨量の多い地域であり、平均年間雨量は1585.9mmである。④マハーサーラカム（1107.9mm）、コーンケン（1208.5mm）、カーラシン（1380.6mm）、ローイエット（1414.2mm）の4県は、同じ地域に区分することも、また近隣諸県の地域に含めることもできない諸県である。これは、コーラート高原の中央を斜めに縦断するプーパーン山脈によって気候的均衡状態が攪乱されるために生じたものである。

このように、同じ東北部でも地域によって降雨量に多寡があるが、雨の降り方には次のような特徴がある。つまり、雨はどしゃ降りや雷雨の形で降り、とくに中央部や北東部では竜巻が発生する。東北部の平均年間雨量は1368.5mmであり、それは同地域面積1万7230km²に2330億m³の降水がある計算になる。同地域で米の二期作に必要な水量はha当り1793mm（1km²当りに換算すると17万9300mm）といわれているから、同地域全体の必要水量はわずか31億mmにすぎない。したがって、この降雨量は計算上、米の二期作を可能とするに十分な水量である。しかし、現実には、東北タイ農業は収穫が不安定なうえ、毎年旱魃の影響を受けている。それは一つには、モンスーンの降雨が特定の月に集中し、水過剰と水不足の落差が大きいことに起因している。東北部において9月は最も雨の多い月で、200mmを下回る地域は何処にも見当たらないが、12月は逆に最も乾燥した月であり、10mm以上の雨量のある地域はほとんどない。年間降雨量の月別配分比をみれば、7～9月の3カ月間で54%を占め、これに6月をくわえれば年間降雨量の70%がこの時期に集中する。こうして年間降雨量の大半が雨季の6～9月に集中的に配分されるため、河川の排水量は雨季の末期に急増水することになる。

(2) 東北部の水文の特徴は、メコン河の分水界に属し、もっぱらメコン河にこの地域の水を排水していることである。主要な河川はコーラート盆地を排水するムーン川とチー川であり、この二つ河川で東北部全域の75%を排水するという。また、サコンナコン盆地の水は多くの小河川によって直接メコン川に排

水される。ここで、まず主要な水系の特徴を整理しておこう⁶⁸⁾。

メコン水系はその源流をチベット高原にもち、川の長さは4500 km、年間排水量は5000億 m³ 以上にのぼり、その分水界はパキスタンの面積に匹敵する80万 km² に達する。そのうち、東北タイとラオスとの国境線を形成するメコン河は延長850 kmの距離となる。いま、北のビエンチャン（そのタイ側のノンカーイ）から350 km下流のパークセ（ムーン川河口の南）までの、メコン水系を取り上げると、ビエンチャン地点の平均排水量が4210m³/秒であるのに対して、パークセ地点のそれは1万0209 m³/秒に上る。つまり、この両地点間に排水量は2倍以上に膨れ上がっていることが分かる。しかし、この排水量に対する各支流の寄与率は大きく異なる。ムーン川河口の北、ムクダーハーン地点の分水界当りの平均水量は20.18 l /秒/km²であるのに対して、その河口の南、パークセ地点のそれは18.73 l /秒/km²にすぎない。つまり、分水界からメコン河への排水量は、ビエンチャン～ムクダーハーン間の方がムクダーハーン～パークセ間よりも大きいことである。これは結局、メコン河の排水量にたいして、ラオス領の支流の方がタイ領の支流よりも寄与度が高いことを意味している。タイ領の支流の寄与率はわずか32%と見積もられている⁶⁹⁾。東北タイはラオスよりも降雨量が多いにもかかわらず、メコン河への排水量が相対的に低いのは、森林破壊にともなう早魃や、地形と土壌などの排水条件の悪さに起因していると思われる。

次に、ムーン水系はコーラート高原南端のパノム・ドン・ラック山脈に並行して流れ、その排水量のほとんどはこの山脈より集められる。分水界は約8万1671km²である。ムーン川の平均年間排水量は、上流のナコンラーチャシーマール地点で観測すると、4800km²の分水界より5億5100m³に上るが、下流のメコン河河口付近では11万2190km²の分水界より280億 m³にも達する。換言するならば、1 km² 当りの排水量が上流域では11.5万 m³であったのに対して下

68) 以下の水文環境については、W. Donner, *op. cit.*, pp. 555—566. を参照。

69) Cmmittee for Coordination of Investigations of the Lower Mekong River Basin. *Lower Mekong Hydrologic Yearbook*. 1963.

流域では25万 m^3 にも増大していることもある。これは要するに、ムーン水系の排水量の大きさとともに、洪水の危険の高さを物語りものである。

チー水系は、ペッチャブーン山脈の東斜面とプーバン山脈から集水し、コーラート高原の中央部を排水しながらウボンラーチャターニーの西でムーン川と合流しメコン河に注ぐ。分水界は5万5211 km^2 であるが、ペッチャブーン山脈の東斜面からの集水量はムーン水系のパノム・ドン・ラック山脈のそれよりも小さい。チー川の排水量を、上流のチャイヤブームの東40kmの地点と、下流のヤソートン近くのワット・タムマーラム地点とで比較すると、上流点では2905 km^2 の分水界で9億4800 m^3 であり、下流点では4万7406 km^2 の分水界で73億 m^3 である。これは、1 km^2 当りの排水量に換算すると、上流域では32.6万 m^3 であったのに対して、下流域ではわずか15.5万 m^3 にすぎないことになる。ということは、差引き17.1万 m^3/km^2 の水量がチー川流域の水田などに吸収されたということであり、ムーン水系の排水と対照的な特徴を見せている。

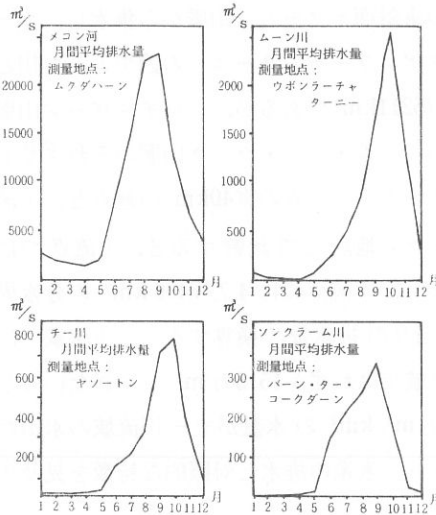
プーバン山脈の北、サコンナコン盆地は無数の小河川によって排水され、直接メコン河に注ぐ。そのなかで最も大きい河川はソングラーム川で、二つの支流より集水し、多くの低湿地と平坦な丘陵の間を曲がりくねって抜ける。この川の分水界は2万0411 km^2 になるが、現地ではTungsと呼ばれる、疎らな草しか生えないシルト・ロームの原野が広がっている。この地域の高い降雨量により、ソングラーム水系の排水量は1 km^2 当り97万 m^3 にも上り、それはムーン川の25万 m^3 と比べて4倍という大きさである。

(3) さて、以上の降雨と主要水系の概観をふまえ、この地域に洪水をもたらす要因について検討しておこう。

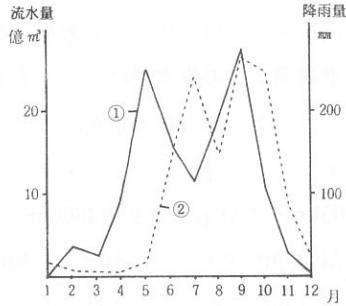
図2-20(2)は、ウボンラーチャターニー地点でムーン川の月間排水量と、ムーン水系の分水界内の8地点での降雨量との相関を観察したものである。同図から、降雨が増大すれば、その1、2カ月後に排水量も増大する、という相関が読み取れる。このように、森林破壊地帯である東北部において、砂質ローム土壌は雨水を吸収して河川の流水量を平均化することができず、降雨とともに

図2-20 東北タイにおける主要河川の排水と降雨

(1) 東北タイの主要河川の排水



(2) ムーン川流域の降雨量と流水量



(注) ① 降雨量
② 流水量

(出所) W. Donner. *op. cit.*, p.559, p.576

地表流去させて河川の排水量を急増させることになる。また図2-20(1)によって、主要河川の排水量の月別変動を見れば、メコン河では排水量は9、10月が最高であり、3、4月が最低となっている。また、ムーン川では、月間排水量は4月が最低で20.7 m^3 /秒であり、最高は10月の2575 m^3 /秒となっている。その落差は何と1:125という大きさである。また、過去約20年間の年間排水量の変化を見れば、最低が93億 m^3 、最高が360億 m^3 であり、年によって排水量が4倍も上下動することが分かる。さらに、チー川の二本の支流、ナムボン川とラムパオ川を観察してみよう。ナムボン川は、1万2104 km^2 の分水界より年間平均22億 m^3 の水量を排出している。1965年にウボンラット・ダムが建設され排水調節が可能となったが、それまでは乾季月(最小月)と雨季月(最大月)の排水量比は、1:227という大差であった。ラムパオ川も、1967年にクムパワーピー・ダムが建設される以前は、最小月と最大月の落差が1.21 m^3 /秒対915 m^3 /

秒、つまり 1:756 という驚くべきものであった。

このように、どの河川においても、降雨→排水量という関係に規定されて、雨季末期の 9、10 月には排水量が急増する。この結果、河川の水位が渇水期と洪水期では大きく変動する。東北部の河川はすでに地表を深く侵食しており、乾季にはそれらの多くは深い溪谷の川底を流れているように見られる。しかし、雨季の洪水がいったん川を下ってくると、たちまち水位は上昇して溪谷を満たし、さらに洪涵地への浸水が始まる。そこで、渇水期と洪水期との水位の変化を見れば、ノンカーイでのメコン河では 12~13m、ウボンラーチャターニーでのムーン川では 11m、ヤソートンでのチー川では 8m、バーンターコックダーンでのソクラーム川では 8m という落差が生じている。なお、ノンカーイ近くのメコン河の洪涵地の研究によれば、乾季には川の水位は平地より 3m も下にあるが、雨季の 10 月には逆に洪涵地が浸水されて 4m も水没するという⁷⁰⁾。もっとも、メコン河は極端な洪水のとき溢れるだけであり、通常、支流の水量が増水して洪涵地を冠水する。ソクラーム川では、川底の勾配が平坦なため、メコン河との合流点より 180 km も上流の地点ですら、メコン河の逆流の影響を受けて氾濫する。

以上のように、モンスーンの降雨が特定の数か月に集中するという降雨条件のもとで、森林破壊が水源涵養能力を後退させているため、降雨とともに地表流去水が急増することになる。そして、地表流去水は、土壌侵蝕を拡大しつつ河川に流入し、水位を急上昇させて洪水を引き起こす。もちろん、こうした降雨と排水条件だけでなく、地形と土壌条件にも観察の目をむけなければならない。

ムーン水系が排水するコーラート盆地は、勾配の小さい平坦な地形を特徴としている。たとえば、ムーン川の上流、ナコンラーチャシーマーと、その下流の、メコン河との合流地点であるウボンラーチャターニー県ピブーンマンサーハーン郡との、二地点をとれば、両地点の直線距離は 320 km にもなるが、川

70) U. S. Bureau of Reclamation, *Pa Mong Stage one. Feasibility Report*. United States Department of the Interior, 1970. Appendix I.

面水位の落差はわずか52mにすぎない。つまり、ムーン川の勾配は1 km 当り16cm以下の水位差ということになる。ただし、実際の川の長さはその両地点間400km以上もあるから、1 km 当りの実際の水位差は13 cm 以下になるだろう。このようなことはメコン河についてもいえる。ビエンチャン〜パークセ間の距離は735km、川面水位の落差は72mである。ということは、メコン河の勾配は1 km 当り平均10 cm 以下にすぎないということである。チー川の場合、ウドンターニー近くのクムパワーピー・ダムや、コーンケーンの北西のウボンラット・ダムが、それぞれランパオ川とナムボン川の上流にあって貯水池の役割を果たし、排水のコントロールを行なっている。しかし、このチー水系にあって、ムーン水系と同様に平坦な勾配であるため、ダムの調節能力を超える降雨と流水のあるモンスーン末期には、流域一帯が冠水され田畑にダメージを与える。

このように、平坦な地形で、川面水位の落差がきわめて小さいため、増水した地表水を可及的速やかに河川排水することができない。それにくわえて、コーラート高原は下層土層がラテライト層であるため、それが不透水層をなして降雨を地下へ排水することもできない。また、ムーン川やチー川の流域には、排水の悪い沖積土壌や低位腐植グライ土が分布しているのも、降下浸透はいつも悪い。こうした地形的、土壌的条件に加重されて、洪水が雨季末期に川を下ってくるや河川の水位が急上昇し、洪涵地への溢水が始まることになる。

(4) 最後に、クラーク・ローンハイにおける旱魃と洪水の状況、そしてその農業への影響について簡単に整理し、本項の締め括りとしておきたい⁷¹⁾。

クラーク・ローンハイの農民は、東北部の他の地域と同じく天水稲作に依存しており、モンスーンの降雨が遅れると稲作に大きな被害を受ける。クラーク・ローンハイの地域面積は3372km²、うち稲作可能面積はその80%とみなされているが、実際に耕作されている恒常的な稲作地はその30%にあたる10万1200 ha (63万2500ライ)にすぎない。米の二期作に必要な水量は1 ha 当り1793 mm

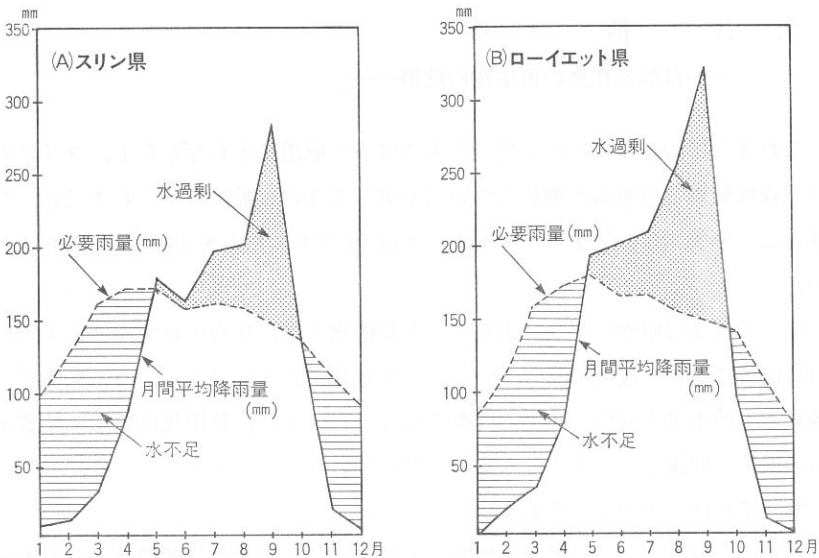
71) Social Research Institute, Chulalongkorn University. *Kula Ronghai Project*. 1981, Vol. 2. pp. 9・12—9・15. を参照。

タイの森林破壊と生態系の攪乱 (III)

とされているから、この稲作地の必要水量は18億1450万 m³ となる。クラーク・ローンハイを貫流するムーン川の排水量は、ラーシーサライ（シーサケート県）地点で4万5108m²の分水界より集水され、66億7000万 m³ に上る。この排水量を貯水する農業用ダムは46億6900万 m³ (0.7×6670×10⁶) の貯水能力が必要だと見積もられている。しかし、クラーク・ローンハイの地域は平坦な地形にあり、この規模のダム建設は不可能だとされている。それゆえ、乾季の11月より翌年の4月まで、深刻な水不足に見舞われ、農業用水ばかりか飲料水の不足にも悩むことになる。図2-21は、クラーク・ローンハイが広がるスリン県とローイエット県において、農業用水の必要水量が月間平均降水量とどのようにアンバランスな関係にあるか、を図示したものである。これによっても、当地の乾季における水不足の深刻さが窺われよう。

逆に、クラーク・ローンハイは毎年9月から11月にかけて洪水の被害に見舞わ

図2-21 東北タイにおける農業用水のアンバランス



(出所) Social Research Institute, Chulalongkorn University, *Kula Ronghai Project*. 1981, Vol 2, p. 9-35, 9-36.

れる。当地の洪水地域ないし洪水原因は次のようである。①クラーク・ローンハイの西部を貫流するムーン川の水が、雨季の末期にはその左岸から溢れ出し、ラム・プラップラーの地域にかけて冠水する。②当地は平坦で、排水は徐々にしか進まないの、降雨量の増加により排水できない水が溢水して地域を浸水する。こうした形の洪水は、ラム・プラップラー、ラム・シヤオ、ラム・シヤオヤイ、ラム・タオの地域において見られる。③スリン県のタートゥム郡南部のムーン川流域一帯は排水が悪く、しばしばこれを原因とする浸水を引き起こす。④チー川とムーン川とが合流する地点では、ムーン川の地形により水の流れを妨げ、ラーシーサライ郡地域の水位を押し上げ溢水を引き起こす。冠水した水は排水が悪いため、時間をかけてゆっくりと退くことになる。図2—21から明らかなように、雨季の末期には逆に水過剰に悩むようになる。こうして、降雨量の月別配分比の極端なアンバランスは水不足と水過剰を交互に引き起こし、天水稲作に大きな被害を与える。

5. 小 括

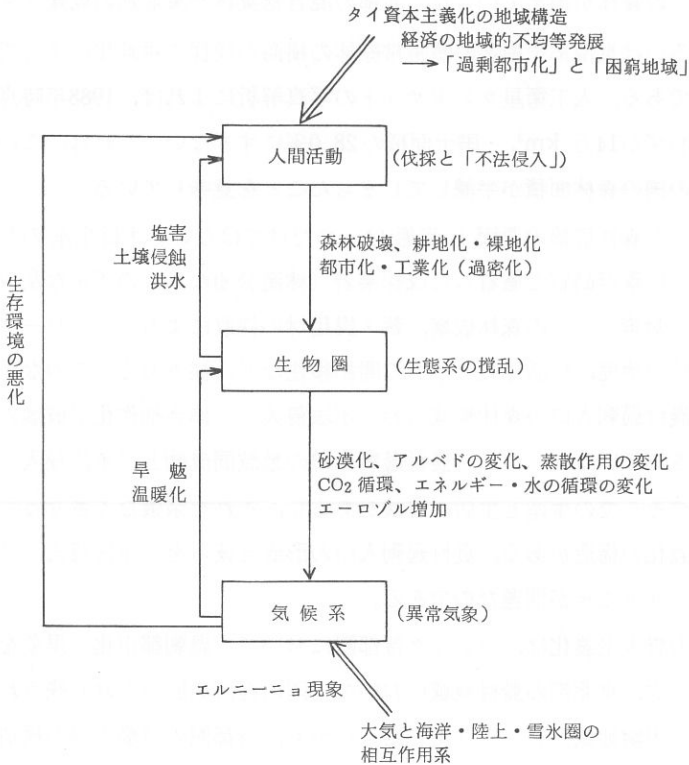
——自然と社会の再生産の危機——

これまで二つの章にわたって、ときには少し脇道にそれながらも、タイにおける森林破壊と生態系の攪乱について追究してきた。最後に、これまで述べてきたことを要約し、第I部のモチーフとは何であったかを再確認しておきたい。

(1) これまで観察してきた東北タイの貧困化とは、社会の再生産そのものが自然破壊によって危機に陥っているという意味でのそれであり、たんに所得の多寡や生活水準の高低の次元の問題ではない。つまり、貧困化は自然の物質循環の攪乱の問題として捉えられるべきだ、ということである。この点、もう少し解説すれば、次のようである。

人間も、他の生物と同様、生物圏（生態系）における物質循環の一環を形成し、その循環系の運動に組み込まれて生命活動を行なっている。しかし、人間の生命活動が、生態系の根幹をなす森林を破壊することによって生物圏の循環

図 2-22 人間活動と生物圏・気候系



(出所) 筆者作成。

系に大きな攪乱を引き起こす。そして、これら生物圏の攪乱が、砂漠化やアルベド、熱と水の循環や二酸化炭素循環などに影響を与え、これを通じて気候システムに異常を引き起こす。気候系の攪乱は、さらに温室効果や旱魃を引き起こすことによって生物圏にフィードバックされ、人間の生存環境そのものを破壊する。こうして社会の再生産が危機に陥られる。東北タイの貧困化の内実はこのようなものであり、図 2-22 のように図解できる。

(2) タイは、1960年代の初頭には国土の56.7% (約29万 km²) が森林によって被覆され、「森の国」と呼ばれていた。しかし、70年代後半から80年代前半に

かけて年平均2%強のスピードで壊廃され、毎年4800km²（ほぼ福岡県の面積に匹敵）の森林が消えていった。北部の混合落葉林や東北部の乾燥フタバガキ林、あるいは東南部や南部の熱帯常緑林の樹海が伐採や耕地化によって壊廃されたのである。人工衛星ランドサットの写真解析によれば、1988年時点の森林面積はわずか14万 km²、国土面積の28.0%にすぎない。これは、この27年間に、この国の森林面積が半減してしまったことを意味している。

こうした森林破壊の要因と形態は一つだけではない。木材生産のための伐採、とくに政府高官と癒着した伐採業者（林産公団など）の不正な乱伐、軍部のゲリラ対策としての森林破壊、薪・炭用材の採取によるマングローブ林やサバナ林の壊廃、生活様式としての開拓移住など、様々ある。そのなかでも、とくに農村過剰人口の森林地域への「不法侵入」と換金畑作化が破壊の主要形態だとされている。しかし、農村過剰人口の地域間流動と「不法侵入」はそれに先立つそこでの生産と生活の崩壊があるし、それを余儀なくさせるこの国の資本主義化の構造がある。農村過剰人口の形成と彼らを「不法侵入」させているメカニズムこそが問題なのである。

タイの資本主義化は、バンコク首都圏において「過剰都市化」現象を顕在化させる一方、東北部の農村地域において一国の経済発展から取り残された、慢性的な「困窮地域」をつくり出した。しかも、首都圏の労働市場の構造は、東北タイの下層農民より析出される「低学歴」＝若年労働力を一方で「吸収」すると同時に絶えず反発し、彼らの都市定着→近代的労働者としての成長を阻害するような、狹隘な構造を特徴としていた。このような段階での資本による労働力配置は、農村・農業人口の都市・工業部門への一方的移動ではありえず、絶えずその逆方向の農村還流と農村人口化、農村間流動と滞留、あるいは農村小生産者化の傾向を随伴させる。そして、この農村還流と農村流動は、「公有地」への「不法侵入」と不可分の過程として展開し、森林破壊を引き起こすことになる。

(3) 東北タイの地質は、中生代に堆積した「コーラート中世界堆積岩」により構成されている。この堆積岩層は5層の地層が重畳したものだが、その最上

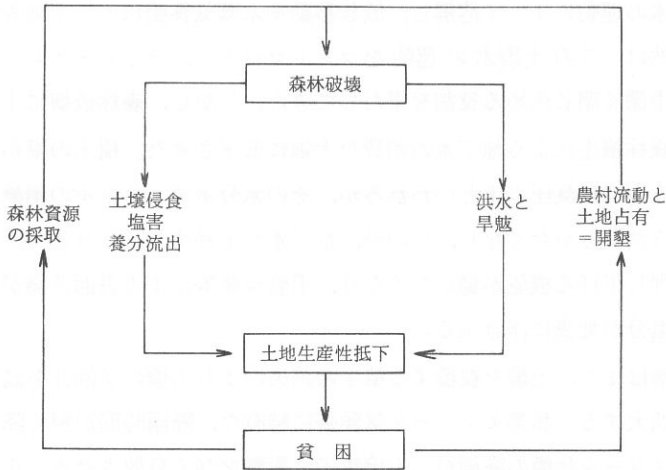
層がマハーサーラカーム地層と呼ばれる岩塩層である。この地層に由来する塩分が土壤水の運動によって溶解し、液状移動や水蒸気移動によって地表に蒸発する。森林は、この土壤水の運動をコントロールし、ディン・ケム(塩害土壤)を地中深く閉じ込める役割を果たしてきた。しかし、森林破壊による禿げ山化は、森林植生による地下水の消費を大幅に低下させた。樹木の根が土壤水を吸収する力は10気圧以上といわれるが、その水分ポテンシャルの消滅によって根による消費分がなくなり、その分、地下水が上昇する。こうして、地下水の水位を押し下げる機能が働かなくなり、毛管現象等による表面蒸発が容易になって、塩分が地表に浮き上る。

森林破壊はまた、土壤を被覆する植生の消失により土壤の受蝕性を高め、土壤侵蝕を拡大する。熱帯モンスーン気候帯に特有な、降雨時間が短く降雨強度の大きいスコール状態の降雨が、土壤粒子に衝撃を与え分散させる。そして、表土層の孔隙が閉塞され、形成された地表土膜が地下への排水を阻碍する。こうして地表流去水が増大して分散された土壤粒子を流亡させ、侵蝕を拡大する。

塩害汚染地域はコーラート盆地のムーン川沿いと、サコンナコン盆地に広がり、その面積は89.4万 ha にのぼる。土壤侵蝕の地域は、東北タイではブーバン山脈からパノム・ドン・ラック山脈にかけて「くの字」型に展開し、侵蝕面積は東北タイだけで687.2万 ha、地域面積の40.7%にも達する。また、全国では6499万 ha にものほり、それは国土の33.9%にあたる。塩害にしろ土壤侵蝕にしろ、森林破壊の爪跡にそって噴出していることに刮目すべきである。

こうした森林破壊と、それに起因する塩害と土壤侵蝕は、動植物の棲息や分布の変化とともに、砂漠化の危険を増幅させ、自然の物質循環に影響を及ぼす。こうして生態系のシステムが至る所で綻びはじめ、地域住民の貧困化に拍車をかける。パナヨータオ・T.も、図2-23のように、貧困が農村住民の流動と開墾を促進して森林破壊を拡大し、森林破壊がさらにエロージョンや塩害を深刻化させ、土地生産性の低下を引き起こして貧困に帰結する、と描いている。こうした貧困と自然破壊の悪循環構造から逃れる道は都市への流出だが、

図2-23 自然破壊と貧困の悪循環構造



(出所) Panayotou T., "Renewable Resource Management for Agricultural and Rural Development in Southeast Asia: Research and Policy Issues." Paper presented at the 5th Bicenial Conference of the Association of Southeast Asian Agricultural Economists, Bangkok, November 1983. ただし、若干の加筆を行なっている。

首都圏の労働市場の構造は狭隘であり、農村過剰人口の至福に至る道は険しい。

(4) 森林破壊は、蒸散作用による「雨雲の補充」を減少させるだけでなく、太陽放射に対するアルベドを変化させ、エネルギーと水の循環に影響を及ぼす。アルベドの増大は＜沈降＞現象を発生させ、降雨の減少と砂漠化を引き起こす。地面アルベドの増加効果は、さらに赤道気団と I. T. C. Z. の北上やスコール・ラインの活動にも影響を与え、降雨量の傾向的低下と旱魃の深刻化をもたらす。また、タイは、森林破壊により9500億トンもの炭素を放出して地球規模での炭素循環に影響を及ぼし、地球の温暖化の悪役を演じる。こうして、地表面の変化と生物圏の攪乱は気候システムに影響を及ぼし、異常気象発生の基因となる。気候システムの攪乱は、逆に砂漠化や森林移動などを促進し、生物圏のシステムの破綻を拡大して人間の生存環境そのものを危機に陥れる。