

2.2 地域的にみた砂漠化・土地荒廃の自然的・社会的メカニズム

2.2.1 砂漠化・土地荒廃現象の捉え方

(1) 普遍化への努力

前述したように砂漠化・土地荒廃問題は、複雑で、地域的な個性が強いという性質をもっている。しかし、我々は、それを承知のうえで、荒削りであっても、一般則を追究する努力をすべきである。当然、一般則を求める過程で捨象されてしまう重要な事項はあるだろう。しかし、それゆえに砂漠化・土地荒廃をそれぞれの場所ごとに特有な現象に封じ込めてしまうことは、この問題の地球環境問題全般に占める相対的地位を低下させることにつながる。

最も急がれるのは、砂漠化・土地荒廃モデルの提示である。このモデルには自然的要因と人為的要因の両方が組み込まれるべきである。人為的要因には、宗教や文化など数値化が困難な要因もあるが、それを何らかのかたちでモデルに組み込む努力が必要である。もちろん、人為的要因の中には、文化や宗教など数値が困難な要因もある。しかしそれらを何らかの形で変数化して、モデルを作成する努力が必要である。まず、モデルをつくり、そのうえで批判的にモデルの妥当性を検証すべきである。また、広域的な資源と環境のトレードオフの関係についても、こうしたモデルにおいては当然考慮されることになるだろう。

砂漠化・土地荒廃問題を考えるに際しては、当然、南北問題を視野の中に入れるべきである。南北問題には、例えば、農産物や木材を途上国から先進国に輸出する問題が含まれる。こうした輸出の結果、途上国の農地や森林が荒廃するといった問題は、検討せざるを得ない。したがって、南北問題を客観的な数値として砂漠化・土地荒廃モデルの変数に入れることも必要である。そうしたデータに基づいて、荒削りであっても砂漠化・土地荒廃を予測し、評価するモデルを作成することが求められている。日本の研究者は、地球温暖化のモデルについて貢献した実績があり、こうした経験をふまえて、砂漠化・土地荒廃モデルを提示すべき時期に来ている。

さらに砂漠化・土地荒廃対策に関する普遍化の努力の必要性を指摘しておきたい。砂漠化・土地荒廃防止については、地域における社会システムの変革を迫るといような根本的な対策から、先端技術による緑化といった具体的な対策まで、さまざまである。このような対策を全体として構造化して、社会システムを変える中で、経済システムをどのように変えるのかを明らかにし、その時に何が主たる換金作物であるべきかを査定し、その作物が生育することで、環境にどのように負荷を与えるかを評価する。そして負荷を与えないためにはどうすべきかを考え、それを達成するための生態学的な技術を提案する。そのような対策全体の体系化、構造化が必要である。現在は、あまりにもばらばらな対策が提案されているのが現状である。

(2) アフリカとアジアをつなぐ視点

アフリカとアジアに見られる砂漠化・土地荒廃現象は、本質的には共通する側面を有している。例えば、スーダンと内蒙古は、全く政治社会体制も違うし、砂漠化現象も詳しく

見ると違う。しかし両者は、半乾燥地域から湿潤地域にかけての移行帯に位置しているという共通項がある。また、両地域に生活する牧畜民が、かつては遊牧をしていたが、いまでは定住化させられているのも同じである。そのため、局所的に過放牧になり、植生や土壌の破壊が進み、不毛地が拡大する。

また、より湿潤な地域には農耕を営む民族がいることも両地域で共通している。農耕を営む民族が、降水量が多い時期には、本来より乾燥した地域に侵入してくる。農耕地の拡大は、長期間にわたって降水量が十分な気候の湿潤期であれば、砂漠化・土地荒廃問題を引き起こさないが、干ばつの多発や気候の乾燥化が起こると、環境に負荷を与えたことが引きがねとなって砂丘の再活動や塩類集積が起こる。これも両地域において共通してみられる現象である。

こうした現象は、大きく見ると、牧畜民、農耕民が攻めぎ合う場としての砂漠化前線というかたちで捉えることができる。こうした認識によって、アフリカとアジアの砂漠化・土地荒廃問題に潜む共通の原理を見いだしていくことができる。地域の伝統的な文化、社会、政治などの違いを超えて、共通原理で砂漠化・土地荒廃を捉え、つぎにそれぞれの地域の特異性を考えていくことで、砂漠化・土地荒廃が引き起こされるメカニズムを、より鮮明に説き明かせると考えられる。

また、砂漠化・土地荒廃問題で一番難しいのは、被災国の過半が発展途上国で、人口爆発の問題を抱えているということである。こうした人口爆発に対応するためには食糧増産が不可欠である一方、単純な耕地の拡大による食糧増産は砂漠化・土地荒廃を加速化させかねない。したがって、生物生産と環境保全の調和をいかに高次のレベルで達成できるのかが大きな問題となる。土地利用システムの変革から、新品種や新技術の導入まで、幅広い対応策を考えていく必要がある。この点においても、アフリカとアジアは共通する問題を抱えている。

(3) 砂漠化・土地荒廃防止対策の考え方

砂漠化・土地荒廃防止に関する現象解明の成果は、その防止対策につながるものでなければならない。すなわち、モデルによって予測される未来を前提に、防止策を講じた時の効果が評価できるような仕組みづくりが必要である。この効果には、直接的な砂漠化・土地荒廃防止の他に、間接的な経済・社会の安定化が含まれるべきである。また一方で、砂漠化・土地荒廃対策の体系化、構造化を行うことも重要である。砂漠化防止対策には、社会システムの再編から緑化修復に至るまで、さまざまなスケールとさまざまな領域の対策が考えられている。しかし、それらのつながりや相乗効果については、充分議論されているとは言い難い。また、先進国の技術を途上国に移転する際の問題点についても十分検討する必要がある。

両者を統合するためには、まず第一に、社会システムの再構築から考えていく必要がある。単純に緑化をすれば砂漠化・土地荒廃が防止できるのではない。例えば、アフリカではいくら木を植えても住民が納得しなければ、それは社会的な意味をもたず、住民が自ら

木を植えるところまでいかない。その意味で、社会システムの再構築が、緑化を考えるうえでも重要であると考えられる。

第二に、持続可能な資源は突き詰めると生物資源と自然エネルギーに帰着するという点である。有限な埋蔵資源とことなり、生物資源は、その再生産能力を生かすことで永続的に利用し続けることが可能である。また近年は、メタンなどバイオガスなどの利用技術も進んでおり、これまで以上に生物資源を有効に利用できる基盤は整っている。また、太陽エネルギーや風力エネルギーなども、それが社会システムに定着するかどうかを慎重に見極めながら、その適用可能性を検討すべきであろう。

第三に、技術移転に対する十分な配慮や、適正技術の開発が求められるという点が指摘できる。例えば、日本で開発された先端技術をそのまま砂漠化・土地荒廃の起こっている地域に適用してしまうと、その適用可能な範囲は限られ、住民から遊離した技術になってしまい、結果として、その地域には定着しないという問題が生じる危険性が高い。こうした点について十分配慮するとともに、地域の伝統的な技術と、新しい技術をどう組み合わせていくかも重要な課題である。

(4) アジア・太平洋における砂漠化・土地荒廃防止

砂漠化・土地荒廃防止に対して日本が果たし得る大きな役割の一つが、アジアに対する貢献であることは言うまでもない。砂漠化防止条約では、グローバルな行動計画を策定すると同時に、アフリカ、アジア・太平洋、ラテンアメリカ・カリブ、北部地中海という四つの地域で独自の行動計画をつくること決められている。そのうちのアジア・太平洋地域について、世界全体を対象とした議論のフレームワークと異なった提案を行うことも可能であろう。

アジア・太平洋地域の砂漠化・土地荒廃問題を考える時、湿潤地域までも含めざるを得ない。例えば中国の乾性半湿潤地域における土壌侵食と、湿潤地域であるフィリピンにおける土壌侵食の問題は、極めて類似性が高いのである。結局、気候地形帯に応じて、現象が段階的に異なってくるにすぎないのであり、土地荒廃現象を連続的に変化するものとして捉え、極乾燥地域から湿潤地域にかけて、その特質が順次変化していくという捉え方をすべきである。

砂漠化・土地荒廃現象をアジア・太平洋地域で議論するには、まず、アジア全域を対象に気候地形学的な自然環境の特徴を把握し、人文社会的な土地利用の現状と、それらの相乗効果によって引き起こされる環境変化現象の類型化を行い、現象の普遍性を把握する必要がある。例えば、モンゴルからインドネシアに至る「東アジア・環境トランセクト」を設定し、それぞれの地域ごとの問題の特徴づけを行うことが、個別研究に先立って必要であると考えられる。

武内 和彦

2.2.2 砂漠化・土地荒廃の進行と自然的・社会的メカニズム

(1) はじめに

中国における砂漠化・土地荒廃地域は北西部のタクラマカン砂漠、ゴビ砂漠周辺に限らず国土の広範囲で顕在化している。Zhu et al.(1992)は現地調査、空中写真、ランドサットデータをもとに中国の砂漠化・土地荒廃地域を $1,483 \times 10^3 \text{km}^2$ (国土の約 15%) と見積もっている。砂漠化・土地荒廃を引き起こす営力は風食ばかりでなく水食も寄与している。砂漠化・土地荒廃地域のうち、 $334 \times 10^3 \text{km}^2$ が風食の顕在あるいは潜在地域であり、 $430 \times 10^3 \text{km}^2$ が黄土高原地帯の水食地域である。このほか、南部湿潤地域の水食地域を含んでおり、特に紅色土地域では荒廃した地域を「紅漠」と呼んでいる(図1)。

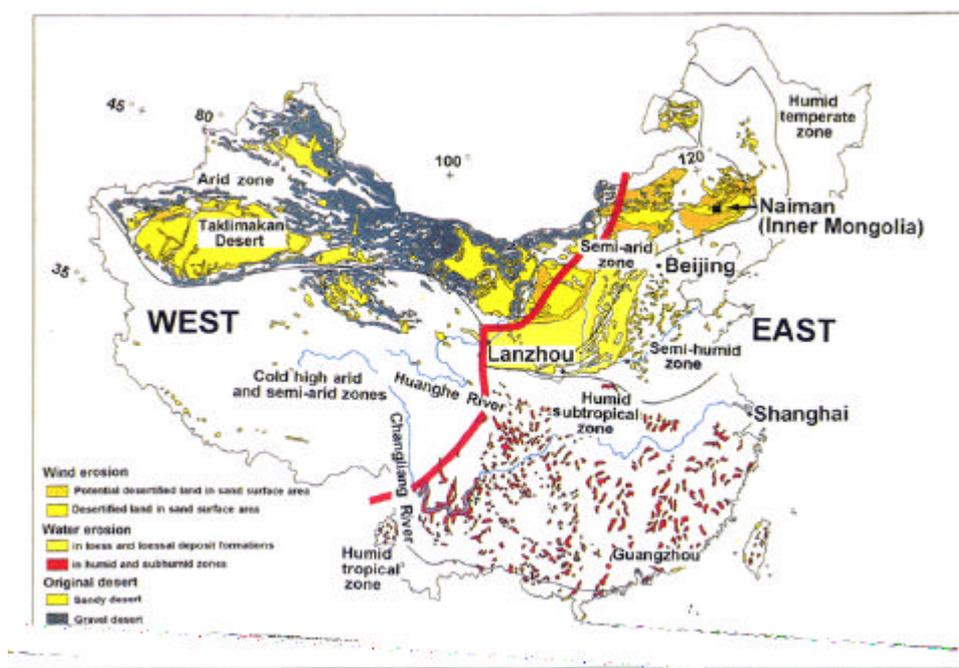


図1 中国の砂漠化地図と対象地域 (Zhu et.al,1992 を一部改変)

その後、1997年5月に林業省から発表された「中国荒漠化報告」によると砂漠や凍結地、塩害地など「荒漠地」と区分される面積は $2,620 \times 10^3 \text{km}^2$ (国土の 27.3%) に達し、最近 20 年間に平均 $2,460 \text{km}^2$ / 年の速度で砂漠化が進行している。この現象は、東北、西北、華北地区で顕著であり、これらの地区では程度の違いこそあるものの、土地の 80% が何らかの荒漠化現象に見舞われている。一方、91年から95年までの5か年間で $43 \times 10^3 \text{km}^2$ の面積で、緑化等の対策が取られたと報告されている。

このように、中国の砂漠化・土地荒廃は一部の地域で対策はとられているものの、依然として拡大傾向にある。ここでは、中国東部の三つの地域でランドサットデータを用いて、最近 10 ~ 20 年間の砂漠化・土地荒廃の進行状況をモニタリングした結果を述べるとともに、中国内モンゴル自治区奈曼旗を対象として砂漠化進行の自然的・社会的メカニズムについて報告する。

(2) 画像解析からみた最近の砂漠化進行状況

ここでは、風食による固定砂丘の再活動地域である内モンゴル自治区奈曼旗、水食により紅色土が露出した”紅漠”景観が展開している浙江省蘭溪市、ガリ侵食によるバットランド景観が生じた雲南省元謀県の三つの地域について、それぞれ約 30km 平方のモデル地区を設定し、最近 10 ~ 20 年の砂漠化進行状況をランドサットデータでとらえた。砂漠化域の特定手法は以下の通りである。まず正規化植生指数を用い植生のないところを抽出し、次に植生のない部分から水域及び人工構造物を除去した。これによって、土壤が露出する部分だけが抽出され、最後にそれぞれの砂漠化域を形成する土壤の色の部分だけを抽出した(今川, 1996)。

その結果、各モデル地区で、砂漠化が進行している範囲は奈曼約 40 %、蘭溪約 3 %、元謀約 15 %と異なっていた。しかし、回復している面積と新たに砂漠化している面積はいずれの地域ともほぼ同じで、各地域の砂漠化面積にはほとんど変化がないのが特徴である(表1)。たとえば、奈曼では、街の東側を南北に平行して走る道路と鉄道や集落の周辺では

表1 奈曼、蘭溪、元謀における砂漠化進行状況

9 1	砂漠地 (活動砂丘)	非砂漠地
8 2	32,808 (29.2%)	13,526 (12.3%)
砂漠地 活動砂丘	32,808 (29.2%)	13,526 (12.3%)
非砂漠地	13,442 (12.0%)	52,562 (46.8%)

(総面積: 112,338 ha)

9 2	砂漠地 (紅漠)	非砂漠地
7 3	2,109 (1.7%)	1,518 (1.2%)
砂漠地 (紅漠)	2,109 (1.7%)	1,518 (1.2%)
非砂漠地	1,186 (0.9%)	121,567 (96.2%)

(総面積: 126,380 ha)

9 2	砂漠地 (悪地)	非砂漠地
7 6	7,982 (8.4%)	5,538 (5.8%)
砂漠地 (悪地)	7,982 (8.4%)	5,538 (5.8%)
非砂漠地	6,339 (6.7%)	75,003 (79.1%)

(総面積: 94,862 ha)

82年~91年に回復傾向にあるのに対し、その外側では砂漠化が進行していた。この傾向は、他の二つの地域でも同じであった(図2)。すなわち、元謀でも76年~92年の街の周辺の回復傾向とその外側の砂漠化傾向がはっきり現れていた。また、蘭溪でも73年~92年で同様の結果が得られた。以上のことは、砂漠化はその荒廃形態に関わらず一方的に進行しているのではないこと、比較的人手の入りやすいところは、何らかの対策が講じられ、砂漠化の進行が抑えられていることがわかった。

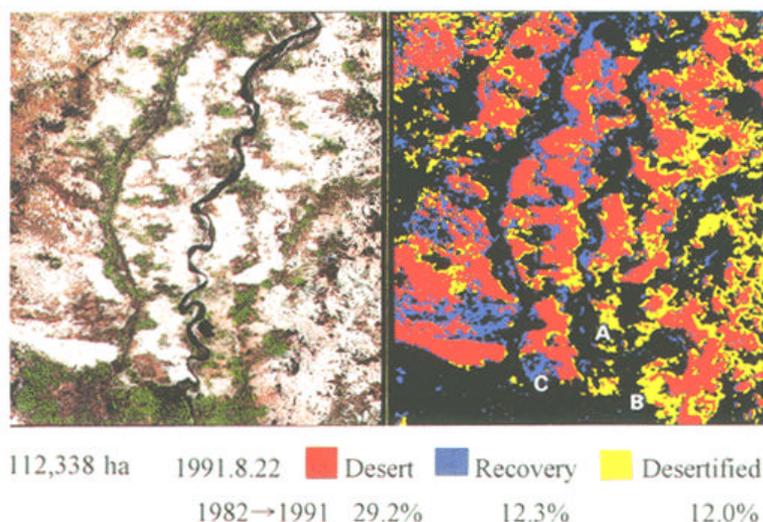


図2 奈曼のランドサット TM 合成写真(左)と砂漠化進行状況(右)

(3) 内モンゴル自治区奈曼旗における砂漠化進行の自然的メカニズム

この地域の砂漠化は固定砂丘の植生と表層 1 ~ 2 m の土壌層が破壊されることにより、未固結の砂が流動することにより始まる。この地域では、砂が舞い上がるとされる 5m/秒以上の強い風が春にしばしば吹く。ランドサット画像にも西から東へ延びる砂丘が広く分布しているのが、写し出されている(図2)。砂の動きは砂丘の規模が小さいものほど大きく、年間 5 m に達することが観測されている。

次に、この地域は年平均気温 6.4℃、年平均降水量 372mm の半乾燥気候に属する。特に、降水量は夏季(6 ~ 8月)に集中し、11月から3月までは 10 mm 以下である。また、春季には 8m/秒以上の強風が 25 ~ 40 日記録されている。このように、春先風が強く雨が少なく、乾燥する気候条件に加えて、裸地状態となっているため、風食を受けやすいばかりか降雨の始まりには水食の危険性も高いのである。

砂漠化の自然的メカニズムの中でも最も重要な要因となる降水量の変動を 1960 年以降の奈曼旗における記録で見ると、60 年から 70 年代半ばまでは降水量は 300 ~ 400mm で

推移しているが、70 年代半ばからは 250 ~ 600mm と変動が激しくなっているのが特徴である。特に、80 年代前半と末は 300mm と小雨であった。この間、各年の降水量と年平均値との差を取り、それを積算する(残差和平均)ことによって、降水量の変動を見ると 60

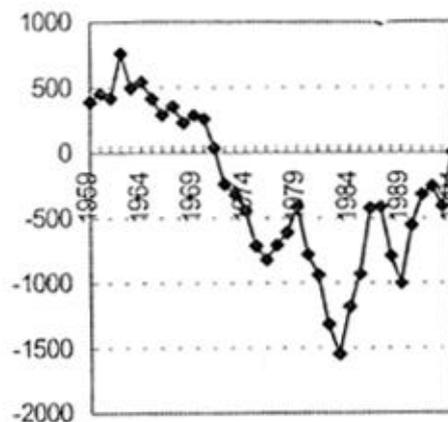


図3 降水量の残差和平均

(Tachiiri et.al., 1997)

年以降乾燥傾向にあり、83 年に最も乾燥した状態になった。その後次第に回復傾向にあり、94 年には平均値まで回復している（図 3）。また、この地域に発達する砂丘を地史学的に調査してみると、砂が活発に動いた乾燥期と植物が繁茂し土壌層が発達した湿潤期があったことが知られている。土壌層が発達した湿潤期は B.C.3100 ~ 2850 年、A.D.625 ~ 825 年、1300 ~ 1700 年とされ、現在は 1700 年以降の乾燥期と考えられている。

（４）内モンゴル自治区奈曼旗における砂漠化進行の社会的メカニズム

奈曼旗における人間活動の歴史は約 7,200 年前まで遡ることができる。したがって、上述した乾燥期、湿潤期の変遷も人間活動と密接に関わっていることが推測される。この地域の農業史から、土地利用の歴史的展開と砂漠化の進行の関係が表 2 にまとめられている。この地域では、放牧を中心とした土地利用に対しては草原生態系が安定し、逆に粗放な草原切替畑農法を中心とした土地利用に対しては砂漠化が進行するという関係が見いだされている。

表 2 ホルチン砂地における土地利用の歴史的展開と砂漠化進行の関連(石ほか, 1998)

時 期	王 朝	支配民族	土地利用	砂漠化関連	沙 丘 断 面	
					土 壤 層	形 成 時 期
B.C 4000 ~ B.C 475 年	紅山文化・ 夏・商・周	山戎族	農業と牧畜 業の兼営	局部砂漠化	第 1 古土壌層 第 1 沙層	B.C3100 ~ 2850 年
B.C 475 年 ~ 907 年	戦国・秦・ 漢・魏晋・ 隋・唐	東胡族 鮮卑族 契丹族	遊牧中心	回復	第 2 古土壌層	625 年 ~ 825 年
907 年 ~ 1270 年	遼・宋・金	契丹族 女真族	農耕中心	砂漠化進行	第 2 沙層	825 年 ~ 1300 年
1270 年 ~ 1902 年	元・明・清	モンゴル族	遊牧中心	回復	第 3 古土壌層	1300 年 ~ 1700 年
1902 年 ~ 1947 年	清末・民国	モンゴル族	放牧と農耕 の兼営	砂漠化進行	第 3 沙層	1700 年 ~ 現在

草原切替畑農法が砂漠化を引き起こす原因としては、この農法が草原土壌の自然生産力だけを利用する掠奪的農法であることによる。すなわち、草原を開墾し、播種した後は、施肥、除草等は行わず収穫をするだけであり、3 年ほど耕作をして地力が落ちた土地は休閑し、新たな土地を開墾して再生産を維持するためである。このような粗放的な土地利用は不施肥、不秋耕、不灌水、不鋤地の「四不農業」と呼ばれ、開墾 - 砂漠化の悪循環を作ったと考えられる。また同時に、開墾の拡大が牧野面積の縮小をもたらし、過放牧を引き起こし、草原の劣化さらには砂漠化を加速させた。

次に、1947 年 5 月に内モンゴル自治区が成立した後は、奈曼旗の人口が 17 万人から 40 万人へと 2.4 倍に達している。一方土地利用は草原切替畑農業から施肥の導入、保水農法

の普及、灌漑面積の拡大、秋耕及び中耕除草の普及による集約化が進行した。この結果、奈曼旗の総耕地面積は 1949 年の 130,186ha から 1992 年の 91,740ha に減少した。減少した耕地の大部分は砂漠化に迫られて、牧草地や防風林地に転用されたものである。しかし、草原切替農法は依然として残っており、特に 1960 年代には固定砂丘の開墾が大規模に進行した。55 ~ 65 年には 8,848ha が開墾されており、これが最近の砂漠化に少なからず貢献していることが考えられている。また、同時に家畜頭数も増大しており、特に羊は 1947 年の 25,000 頭足らずから 1994 年には 34,000 頭余りへ約 14 倍にも増加している。牛、馬、ロバ、ヤギを含めた総数は 1960 年までに急激に伸び、それ以降は平衡状態である。したがって、この時期は固定砂丘の開墾が進んだ時期でもあり、開墾による牧野面積の減少と放牧家畜頭数の伸びが重なり合い、砂漠化の進行を加速させた。

このような変化は、砂漠化面積にも反映されており、奈曼旗の土地総面積に占める砂漠化した土地の割合は 1950 年代末期には 40 %であったが、1970 年代末には 69 %まで拡大した。そして、1980 年代には 66 %に若干減少した。それ以降の変化を奈曼旗の中心部を対象にランドサットデータで進行状況を把握したが、砂漠化面積にはそれほどの変化が見られなかった。

(5) おわりに

ここでは、内モンゴル自治区の奈曼旗を中心に砂漠化の進行状況とその自然的、社会的メカニズムを検討した。長期間の砂漠化の進行には、時代毎の土地利用ありかたが大きく関与していることが明らかとなった。また、1950 年以降は急激な人口や家畜の増加や特定の時期の開墾などが砂漠化の原因となっている。そして、降水量の減少による乾燥化に加えて冬季の乾燥と春季の強風というこの土地特有の気象条件が砂漠化を拡大している。しかし、一方では農法の転換や砂漠化に直面した土地の牧草地、防風林地への転用、牧草を著しく破壊させるヤギの飼養禁止、飼料作物の利用などを通しての砂漠化防止技術が功を奏しているのも確かである。今後は、土地生産力の評価とそれに適合した土地利用のあり方を検討することによって、持続的な土地利用が行われるとともに砂漠化した土地の回復をはからなければならない。

今川 俊明

2.2.3 人間生活の観点からみた砂漠化と干ばつの防止策

1978 年以來 20 年間にわたって砂漠化問題の中心になってきた西アフリカの内陸乾燥地帯で砂漠化の惨状を目の当たりにしながら民族学的研究をつづけてきた（とくに、嶋田 1997b でその惨状を詳しく仏文で論じた）。民族学的な研究とはなにか、それは一言でいえば、研究対象となる社会・文化のひとつの生活をその内部から総合的に理解することである。こうした観点から、砂漠化とはなにか、またその防止策を論ずる。

(1) 砂漠化とはなにか、あるいは「砂漠化防止条約」をどのように理解するか

人間生活の荒廃としての砂漠化か土地の荒廃としての砂漠化か

砂漠化とはあくまでも干ばつなどともなう乾燥地における人間生活の破壊である。

しかしこのような砂漠化理解は、一見、「砂漠化防止条約」の砂漠化の定義とはずれていくように見える。「砂漠化防止条約」の第 1 条 a に、砂漠化は「土地の劣化（荒廃）」として次のように定義されているからである。

「砂漠化」とは、乾燥、半乾燥及び乾燥半湿潤地域における種々の要素（気候変動および人間の活動を含む。）に起因する土地の劣化（land degradation）をいう。

「土地の劣化」とは具体的には、さらに、

- 1) 風又は水による土壌浸蝕
- 2) 土壌の物理的、化学的及び生物学的又は経済的特質の悪化
- 3) 長期間にわたる自然植生の消失

と、されていて（第 1 条 f）砂漠化とは、こうした土地の土壌学的生態学的荒廃に還元されるかのごとくである。自然現象としての砂漠化が砂漠化の基礎にあることは当然であるが、砂漠化を土地の自然条件の荒廃だけで理解するのは、砂漠化の実態把握としても、「砂漠化防止条約」の理解としても不適切である。

砂漠化（Desertification）と干ばつ（Drought）

砂漠化を土地劣化に還元して理解することが問題なのはまず、いわゆる「砂漠化防止条約」というのは、正確には「砂漠化」防止と「干ばつ」の緩和のための条約であり、正式には「深刻な干ばつ又は砂漠化に直面している国（特にアフリカの国）における砂漠化の防止のための国際連合条約」というからである。

「干ばつ」は第 2 条の c でつぎのように定義されている。

「干ばつ」とは、降水量が通常の記録の水準を著しく下回る場合に生ずる自然発生の現象であって、土地資源の生産体系に悪影響を与える深刻な水文学的不均衡をひきおこす

ものをいう。

つまり、降雨の減少によって、「土地の劣化」が生じなくとも、「土地資源の生産体系」に悪影響がでるならば、それは「干ばつ」であり、「砂漠化防止条約」はこの緩和も目的にしている。砂漠化という言葉にはしたがって狭義の意味と、「砂漠化」と「干ばつ」を含む広義の意味があることに注意しよう。

なんのための「砂漠化」と「干ばつ」防止か

では、「砂漠化」防止と「干ばつ」緩和は何のために行われるか。「砂漠化防止条約」はけっして、自然現象としてのみの「砂漠化」や「干ばつ」防止を問題にしているのではない。この点の表現に、「砂漠化防止条約」は非常に細かな注意を払っている。「干ばつ」というのが、人間の生産活動に悪影響をあたえるかぎりの干ばつであることを上にみたが、「土地の劣化」というのも、人間の生産活動に悪影響を与える限りでの土地の劣化である。「砂漠化防止条約」で、「土地の劣化」はつぎのように定義されている（第1条c）。

土地の使用又は単一の若しくは複合的な作用（人間活動及び居住形態に起因する作用を含む。）によって生ずる降雨依存農地、灌漑された農地もしくは放牧地、牧草地及び森林地帯の生物学的又は経済的な生産性と複雑性の減少

「砂漠化防止条約」において砂漠化をこのよう人間生活中心に理解しようという姿勢は、さらに、「この条約の締結国は、影響を受けている又はそのおそれのある地域の人々が砂漠化の防止および干ばつの影響の緩和に関わる関心事の中心に存在することを確認し」にはじまる、その長い前文にはっきりとうかがえる。そこでは、砂漠化防止対策の中心が砂漠化地域、特にアフリカにおける生活改善や、経済・社会の発展であることが、幾重にも強調されている。ピックアップすると、

持続可能な経済成長、社会開発及び貧困撲滅は、被影響開発途上国（特にアフリカの国）の優先事項であるとともに、持続可能という目的を満たすためには不可欠なものであることを意識し、

砂漠化及び干ばつは、それらと貧困、不十分な保健及び栄養、食料安全保証の欠如のような重大な社会問題並びに移住、食料及び人口動態に起因する社会問題との相互関係を通じて、持続可能な開発に影響を与えていることを十分に留意し、（中略）

現在及び将来の世代の利益のため、砂漠化の防止及び干ばつの影響の緩和についての適当な措置をとることを決意して、

次のとおり協定した。

「砂漠化防止条約」第2条でも、その目的が人間生活の荒廃の改善でありその進展であることが、次のように明快に宣言されている。

- ・この条約の目的は、被影響地域における持続可能な開発の達成に貢献するため
- ・この目的の達成は特に地域社会の段階における生活条件の改善のための長期的総合戦略であって、(略)

人間生活を無視した実際の砂漠化防止対策

しかし実際にこれまでおこなわれてきた砂漠化防止対策やこれをめぐる議論をみるかぎり、自然現象としての砂漠化防止策が先行しすぎたきらいがないでもない。

とくに砂漠化防止対策においては土地の劣化の改善のみに注目しすぎるきらいがあり、さらに、それが人間の生産活動に関与するかぎりの土地の劣化であることが忘れられると、土地の劣化の改善 = 植林による緑化、という短絡的思考がひろがることにもなる。こうなると、砂漠化防止対策において、荒廃した人間生活の改善に目が届かなくなるどころか、人間生活をさらに窮乏させるような砂漠化防止対策ともなりがちだ。たとえば、牧畜民の家畜が土地の劣化の元凶だから、牧畜民の牧畜を禁止せよ、あるいは農耕を禁止せよ、というような。とくに由々しいのは、牧畜に対する無理解が激しいことである。牧畜は乾燥地ではその自然にきわめて適応した、農業よりもはるかに生産性の高い生業であるが(嶋田 1995)、このことが十分理解されていない。

こうした問題が生ずるのは、砂漠化防止問題がしばしば地球温暖化防止問題と混同されてしまっていることとも関連している。砂漠に植林すれば、その森がCO₂を吸収するから地球温暖化防止に役立つ、それゆえに砂漠緑化をすすめるべきだという議論である。そのためには牧畜も農業も、住民の薪採取も拒否してしかるべきだとなる。しかし砂漠に植林することによって地球温暖化防止などをすることは、技術的・経済的、さらに植物生態学的に不可能である。CO₂を吸収する森林をふやしたいなら、元来森林地帯であるところの森林保護や育成をはかるべきであろう。その方が技術的にも経済的にもはるかに容易である。いずれにせよ、地球温暖化防止は、「砂漠化防止条約」の直接の目的ではない。

砂漠緑化がなんらかのかたちで砂漠化防止あるいはそこにおける人々の生活改善に役立っていることを否定するものではない(たとえば、街路樹を植えたり、果樹などの有用樹を植える場合)。しかしたんに原野に木を植えるような植林活動など、砂漠化に苦しむひとたちの多くは、自分たちの生活改善と無縁だと考えている。そもそも、あの広大な乾燥地の土地劣化を人為的にまんべんなく改善するなどというのは不可能にちかい。砂漠緑化と言っても現実には、植林しやすい場所をえらぶからそれは元来農地や牧草地であった場所であることが多く、それゆえ生産活動と矛盾対立する場合が多いことにも注意をはらう必要がある。砂漠化に苦しむ国の政治指導者の中にはそれゆえ、こうした人間無視の砂漠化防止対策は先進国のエゴだとさえ考えている人さえいることに注意を要する。

砂漠化防止対策で重要なのは、砂漠化に苦しむ人々の救済に至るような対策である。このことを認識しない砂漠化防止対策は、現地のひとびとにも喜ばれもせず、対策に寄与する側の名誉ともならない。あるいは現場で実際に砂漠化防止対策に従事するひとびとを混

乱におとし入れるだけとなる。

ではこうした観点から、いかなる実効的な砂漠化防止策があるのか。ここでは、筆者が長らく調査をつづけてきたサハラ砂漠南縁のアフリカにおける砂漠化問題の実情に即しつつ、これまであまり問題にされなかった、砂漠化防止のための基本政策の原理的問題を二つ提起する。

(2) 地球・人間環境学的な国際政治学の必要

人間生活の荒廃としての砂漠化の基礎に自然の荒廃としての砂漠化が厳として存在していることを筆者はみとめないわけではない。それははっきりと存在する(嶋田 1992c)。しかし、自然現象としての乾燥化や土地荒廃と人間生活の荒廃とのあいだにある因果関係はきわめて複雑である。自然現象としての砂漠化を解決すれば自動的に人間生活の破壊が解決されるわけではない。砂漠化防止のためには自然と人間を結ぶ複雑なメカニズムの解明が必要である。同時に、そのメカニズムは一律のモデルで理解できるものではない。なぜなら、乾燥地の自然条件自身が複雑であり、かつこれに対応する人間の側の社会・文化・政治・経済条件がきわめて複雑だからである。地域に応じたモデルづくりが必要となる。

乾燥地はむしろ文明の中心であり貧困地帯ではなかった

サハラ南縁のサーヘル地帯に関するかぎり、「砂漠化」の原因のひとつは、はっきりと政治・社会的な問題である。しかしこのことを理解するためにはまず二つのことを認識する必要がある。

一つは、乾燥地は歴史的にみれば、定期的に乾燥化におそわれてきており、乾燥化は今にはじまったことでない、ということである。雨が多い時代でも、毎年ごとの変化を詳しく見ると実に大きく変化している(門村 1991a,b,1992)。したがって、乾燥地の生産はきわめて不安定であった。

しかしサハラ南縁世界は歴史的に見れば、他のアフリカ地域にくらべて、ふるくから高度な文明が発達し、国家や都市の形成もさかんであった地域である(嶋田 1990,1993,1997a,b)。サハラ南縁世界はけっして貧しい地域ではなかった。むしろアフリカにとっては栄光に満ちた地域なのである。特に、わたしが主に研究をつづけてきたジェンネなどは、その名がアラビア語でパラダイスを意味する語に由来するほどの都市であった。こうしたアフリカのかつての先進地域が現在、世界の最貧国に位置づけられ、砂漠化にあえいでいるのである。それだけに、サハラ南縁地帯の砂漠化の深刻さが訴えられているのであるが、こうしたことが、自然現象としての砂漠化だけで説明できるのであろうか。それは不可能である。ではどう説明したらよいのか。このことをサーヘル地帯の文明形成の背景をかんがえるなかで考察してみる。

多様な生業と地域間の交流にめぐまれたサハラ南縁世界

まず重要なことは、乾燥地は乾燥地であるがゆえに本来土地生産性は低い土地であったように考えられやすいが、必ずしも低くはなかったということである。アフリカで見る限り、森林が発達する湿潤地帯にくらべてはるかに高かった。その最大の理由は、乾燥地で

は多様な生業が可能であったことにある（嶋田 1992b）。

農業の他に牧畜、狩猟、漁業も可能であった。乾燥地に漁業は不可思議に見えるが、乾燥地の河川は栄養豊富で、実に魚が豊富なのである。またそうした漁業を可能にするような、ニジェール川やセネガル川のような、エジプトで言えばナイル川のような大河川がサヘルには流れていた。これらの大河川はその定期的な氾濫によって、その周囲に広大な牧草地や自然灌漑による稲作地帯なども形成した。乾燥地は河川があると、その生態学的多様性もきわめて大きくなる。

しかし湿潤地帯になると、まず牧畜が不可能になり、狩猟動物もいなくなる（哺乳類はほんらい乾燥地帯の草原に生息する）。農業も乾燥地帯では穀物農業がさかんであるが、森林地帯になるとイモ類の栽培しか可能でなくなる。イモは貯蔵も困難なうえ栄養学的にも貧しい（嶋田 1994）。

しかしこの地域の文明形成をうながした理由には、もうひとつ重大な理由がある。それは、サハラはかつてイスラーム商人による隊商活動がきわめて活発な地域で、それによる商業経済の発達が存在したということがある。サハラのような砂漠は、森林や川がないだけ、きわめて交通容易な、物流の大動脈がはしる地域だったのである。サハラ南縁にはトンプクトゥやジェンネなどの都市が古来栄えてきたが、これらの都市は、あの広大なサハラ一円を、さらには地中海、中東までふくむ地域を経済的後背地として成立していたのである（嶋田 1997a）。

こうした交通網は、嶋田（1992a）で強調したように、都市や国家を繁栄させるだけでなく、急激な乾燥化によってある地域で飢饉が生じた時には、ただちにそこに食料などを送り込む、いわば危機管理装置として働いていた。こうした装置が存在するかぎり、ある地域の乾燥化は、他の地域の商人などにとってはビジネスチャンスでもあった。

国境紛争によって崩壊したサハラをめぐる広域経済体制と危機管理システム

サヘル地帯というのは、サハラをまたにかけた広大な地域間交流、および様々な生業間の有機的つながりによってなりたってきた世界なのである。現在砂漠化という生態学の言葉で語られているこの地域の生活の荒廃問題は、じつは、こうしたかつての地域間システムの崩壊によって大半が説明できる。なぜなら 1960 年を機にアフリカ諸国がいっせいに独立を遂げると、それらの国境線のために、こうしたサハラをまたに張り巡らされていた物流体系がずたずたに切りさかれることになったからである。

というのは、これらの国境のほとんどはアフリカがヨーロッパ諸国に植民地化される過程で、国境地帯の民族も地理もよくわからないままに机上で設定したものが多く、実際、現場で国境を確定するとなると、ただ混乱をひきおこすだけであったからである。特に砂漠化が激化した 1970 年代以降、サハラの国境地帯では国境紛争があいつぎ生じ、80 年代 90 年代など、国境の全面封鎖の状態になっていた。そのためかつてはサハラ交易でさかえた都市は死んだようにその都市機能が麻痺してしまった。サハラ全体をひとつの身体にたとえるならば、その身体のすみずみに栄養や酸素をはこぶ血管網がいたるところで断ち切ら

れたり動脈硬化や血栓症をひきおこしているのである。サハラ交易の末端の拠点として栄え「天国」とも称されたジェンネの町はいまや死した状態にある（嶋田 1997b）。

こうしたサハラをめぐる国際的な物流体系の崩壊にともなって、各国内部でも地域対立が激化し、国内の物流さえも遮られるようになった。否、じつはそもそも、アフリカのほとんどの国において、その国を内部で統合する国土システムと呼ぶべき交通体系などともに存在していないのである。たとえばマリであれば、西南部にある首都のバマコを中心とする地域と北東部の砂漠地帯をむすぶまともな交通路など存在しない。北東地域はむしろ隣接国との経済交流のほうが活発であった。国土システムが貧弱なこのような国に国境紛争がおきたりすると悲劇なのである。

乾燥地を孤立させるな：地域間交流の再活性化の必要

したがって、わたしが、砂漠化防止対策としてなによりも訴えたいのは、こうした国境紛争や国内の民族紛争などの政治的混乱の解決なのである。乾燥地の人々の生活を危機に陥れるのは孤立である。「砂漠化防止条約」も、問題解決のための国際的な協力の必要を訴えている。そもそも、こうした紛争解決なくしては、どんなに多額な資金や高度な技術をつぎこんでも、その砂漠化防止対策は無駄となる。砂漠化防止対策の第一条件として、地球・人間環境学的な国際政治学的な立場に立った援助や配慮が必要とされ、と言うべきであろう。しかしそれは、乾燥地域のイニシアティブと自助による砂漠化問題解決に大きく貢献するものであることをも強調したい。乾燥地、とくにサハラをめぐる地域というのは、そういう相互援助による自助システムが本来存在し機能していた地域だからである（嶋田 1992a,1997b）。これを機能させなくしたのは植民地主義に歪められたこの地域の近代化プロセスだと考えている。アフリカにおける植民地主義と無関係の日本はこの解決になんらかの役割が果たせるのではないだろうか。

（3）乾燥地における水資源と水利用の技術と社会的慣行の総合的研究

「砂漠化防止」対策の第2点としてわたしが訴えたいのは、「乾燥地における水資源と水利用の総合的研究」である。というのは、自然現象としての「砂漠化」の原因究明も、わたしのみるところ、これまでの研究のほとんどは降雨量変化と蒸発量の組み合わせをもとに砂漠化を理解しようという、気候学的アプローチにかたよりすぎているようにみえるからである。UNEP (1992)の砂漠化地図もその典型である。

そこに欠けているのは、乾燥地における水資源がどうなっているのか、それを人がどのように利用しているのかという問題意識にたった砂漠化メカニズムの研究である。

乾燥地における水資源のと水利用技術の多様さ

乾燥地の自然は、地形や温度を考慮すればけっして単純ではない。山もあれば平原もある。大河が流れている場合もあれば湖がある場合もある。同じ平原でも地下水が豊富な場合もあればそうでない場合もある。さらにそれを各地域の人びとがどのように利用してき

たかとなるとさらに複雑である。農業をするばあいでも、天水にたよるのか、灌漑にたよるのか、それも自然灌漑か人工灌漑か、井戸を掘るのか、流水をせきとめるのか。小堀巖（1996）が示すように、砂漠地には、カナート・フォガラのようなとんでもなく複雑な水利技術がふるくから存在してきた。さらにいかなる穀物を耕作するのか、家畜を飼う場合でもいかなる家畜を飼うのか、遊牧によるのか、牧場形式によるのか、あるいは舎飼いによるのかで、水資源の利用形態はちがってくる。したがって「砂漠化」あるいは「干ばつ」がおこる程度や限界もことなるのである（嶋田 1992c）。

乾燥地の生産は降雨にはそれほど依存しないこと

わたしは、UNEPの砂漠化地図はこうした砂漠化をめぐる存在する数多くのパラメーターを極めて単純化したうえでできている地図で、これは砂漠化の実態に即していないと考える。これを参考にするのならともかく、これを砂漠化防止対策の金科玉条とすることはこのましくない。

そもそも降雨量というのは、砂漠化の全体的趨勢を理解するうえでは重要であるが、ミクロなレベルにおける砂漠化を考えるうえではあまり役立たない。なぜなら、乾燥地はもともと降雨量のすくない地域であり、ひとびとの生活は降雨量に直接は依存していないからである。たとえば、降雨量がゼロに近くても大河があれば、その自然灌漑で農業や牧草地が得られる。地下水があればオアシスが形成される。特に、サハラ南縁のサーヘル地帯の場合、ニジェール川、セネガル川、チャド湖という巨大な河川および湖沼が存在し、それが乾燥地帯のオアシス機能を果たしているのであるが、UNEPの砂漠化地図ではこのことがわからない。他方、サハラ南縁地帯では、年降雨量が600ミリちかくの地帯まで、農地は水があつめやすい谷間とか山の麓に限られていて、農地はなんらかの自然灌漑にたよっている。天水には100%頼ってはいないのである。

「砂漠化防止条約」対策の対象を、年平均降水量の蒸発可能量に対する割合が0.05以上で0.65以下の地域とし、この割合が0.05以下の極乾燥地域を、対策不能として対象からはずしているが、これはわたしは不適切な判断だと考えている。0.05以下でも、地下水などがあればオアシスの形成は可能であり、現にそうしたオアシスは存在しているからである。しかし実際には、サハラ南縁の人が住む乾燥地はこの数値0.05以上にある。

乾燥地の知恵に学びつつ日本の知恵を生かそう

重要なことは、乾燥地における水資源のありかたはきわめて多様であり、水利用もきわめて複雑精緻であることだ。乾燥地のひとびとがわずかな水資源をどんなに精緻に管理・利用しているかは、乾燥地を知らない者には想像もできない。しかし残念ながら、多くの教科書的書物で、アフリカでは降雨にのみ頼る粗放な農業と粗放な牧畜をしていると記している。

「砂漠化」や「干ばつ」というのはこうした乾燥地における水の管理・利用体系、さらにはそのうえにたった生活が破壊されるためにおこる。外部の者が、砂漠化防止対策をた

てる場合も、このことについての知識がないと、有効な対策がたてられない。逆に、在来の水資源の管理・利用体系を破壊することもある。たとえば、乾燥地を流れる河川の上流にダムをつくり取水したりすると、下流には水がいかず、自然灌漑で農耕したり牧草地を育ててきたひとびとは多大な被害をこうむる（嶋田 1992c, 1997b）。砂漠の中に地下ダムを建設する場合などもおなじである。これはわかりきったことのように、実際はほとんど認識されていない。

UNEPの砂漠化地図は、天からの降雨によって畑作をおこなってきたヨーロッパ人の発想にもとづく砂漠化地図であるとおもう。精緻な灌漑システムに立脚する日本の稲作は畑作農業とくらべたらはるかに複雑な水資源の利用・管理をおこなってきた（嶋田 1998）。こうした発想をいかすような形で、乾燥地の水資源とその利用についての総合調査をおこなうことは、世界の砂漠化問題に大きな独自の寄与をおこなうものとおもう。

嶋田 義仁

2.3 砂漠化・土地荒廃現象に関するモデル化の可能性

本節では、砂漠化と関連するモデルをレビューし、どのような領域において、何を対象として、どのようなモデルが開発されてきたのかを紹介し、さらに今後のモデル開発の方向性について展望する。

砂漠化関連のモデルとして、まず個別の砂漠化現象（水食、風食、塩類化、植生、人口、環境資源）のそれぞれに関するモデルをとりあげる。水食、風食、塩類化、および放牧地における過放牧等による長期的な植生荒廃は、砂漠化・土地荒廃の主要なプロセスである。また砂漠化の人為的な要因の駆動力(driving force)として、人口は主要なパラメータとなる。乾燥地域における人々の生活は、居住地周辺から得られる種々の環境資源、たとえば食糧（穀物）、エネルギー（薪炭材）、水（灌漑・飲料等）、家畜飼料等に大きく依存している。そして砂漠化・土地荒廃は、しばしばこのような環境資源に対する需要と供給のアンバランスから生じる。このほか、気候学におけるモデルも重要であるが、それについては、2.1.1で述べられているのでここでは省略する。つぎにこのような砂漠化現象を複数取り込み、それらを統合したモデルについて紹介する。

もとよりこのような広い範囲の研究を網羅的にレビューするには限界がある。ここでは、砂漠化関連領域におけるモデル研究の全体像を多少なりとも示すことを試み、各分野における詳細なレビューは他にゆずることとしたい。

(1) 個別の砂漠化プロセスに関するモデル

水食

水食に関連するモデルは、大きく経験的なモデルと物理的なモデルに分けられる。

経験的なモデルとは、観測された水食量データと、侵食に寄与する種々の因子に関するデータとを統計的に関連づけたものであり、その代表的なものにUSLEモデルがある。これは1962年にWischmeierとSmithがアメリカ国内の水食観測データをもとに開発したもので、年間の土壌損失量を、降雨侵食度、土壌侵食度、斜面長、斜面の傾斜度、作物の管理状態をあらわす係数、土壌保全対策度により説明する。世界各地でこの式の適用について検討され、各地域に応じた種々の修正式が提案されている。

一方、物理的なモデルとは、土壌粒子の挙動を侵食のメカニズムや水文学的原理によって推定するものである。たとえば、農地における土壌侵食による殺虫剤や肥料の流出を予測するCREAMSモデル、土壌侵食、風食およびその作物生産力への影響そして全体的な生産力への影響を予測するEPICモデル、侵食、水文、植物生長、残滓管理、水利用、水力学、および土壌プロセスをシミュレートするWEPPモデルなどが開発されてきている。

風食

風食は水食とならんで砂漠化・土地荒廃の重要なプロセスである。たとえばGrunblatt et al.(1992)は、風食状況モデルとして、風食ポテンシャル、裸地率、粗砂率の3つのパラ

メータであらわす式を提示している。ただし、これは風食による飛砂量の推定であって、その被害の程度をあらわすものではない。また砂による埋没や飛砂による植物体へのダメージには言及しない。

塩類化

塩類化の程度を予測するモデルは、地域に応じて種々のものが開発されており、たとえば Ive et al. (1992)は、対象流域における流域流の塩類濃度を森林面積比、セディメント比、年降水量で説明するモデルを提示している。

植生（とくに放牧地植生）

植生、とくに放牧地植生に関するモデルは、主として草食動物による放牧圧と、採食される植物との相互関係を記述するものであり、この分野には多くの研究が蓄積されてきている。ここでは、定量的モデルと概念的モデルに分けて紹介する。

定量的モデルとしては、ロトカ・ボルテラ捕食系モデルを出発点として、それをさまざまに改良したモデルが提案されている。たとえば Sarkar and Roy (1993) は、資源依存型植物 - 草食動物系モデルを提案している。このように生態学分野では空間的作用を考慮したモデルなど多様なモデルが開発されているが、現実の、降水量や家畜頭数、植物種などが変化する環境での適用が可能かどうかについては検討が必要である。

つぎに概念的モデルであるが、これは放牧地における植生遷移がどのように進行しているのかを概念的に示したものである。Dodd (1994) は、それらを以下のようにまとめている。すなわち、放牧地の植生は、過放牧や干ばつによって退行方向に遷移し、禁牧や十分な降雨によって進行方向に遷移すると考える標準放牧地進行 - 退行遷移モデル、これに対して植生の状態は連続的ではなく離散的であり、この状態間を推移すると考える状態・推移モデル、さらにその状態間の推移には一定の閾値が存在すると考える閾値・状態モデル、非平衡ではあるが持続的と考える非平衡持続モデルである。どのような概念モデルを採択するかによって、放牧地における家畜管理戦略がかわってくる。

人口

人口の推計については、多大な研究の蓄積がみられる。人口推計の方法は大きく分析的方法と要因別推計法にまとめられる。

分析的方法（数学的方法）とは、既存の人口の時系列データをもとにして変動の傾向を把握し、それにもとづいて将来予測をする方法である。用いる数学モデルに応じて、直線モデル、幾何級数モデル、成長曲線モデルなどがある。

一方、要因別（延長）推計法とは、人口動態統計、人口移動統計などから要因あるいは要素別に変動の内訳を知る方法で、人口の増減をいくつかの要因、要素に分けてそれぞれに推計していく方法である。このなかで、もっともポピュラーな方法は、コーホート要因法であり、国連や日本の人口推計でも多く用いられている。

環境資源の需要 - 供給バランスに関するモデル

食糧モデルについては多くの研究があるが、とくに砂漠化と関連したものとして、たとえば平賀・松本(1993)は世界の食糧消費と農業生産について、土壌劣化の因子をとりこんだモデルを提案している。

エネルギーモデルについては、Mwandosya and Luhanga (1985)は、タンザニアを事例として、バイオマスの需要と供給に関するモデルを提案した。それは、人口の増大にともなう木材消費量の変化と、林地における自然的な再生量と新たな植林によるバイオマスの供給量の変化との収支であらわされている。これは国土レベルのモデルであるが、一方、村落レベルのモデルとしては、Anantha Ram et al. (1990)は、インドの村レベルの燃料材の消費と供給について調査し、燃料の需要と供給の内訳を明らかにしている。この種の調査により得られた原単位を用いれば、モデル化は可能であろう。

水の供給に関しては、水文学の分野で水の空間的な挙動に関して多くのモデルが開発されてきており、それらを応用して用いることが可能と思われる。一方、乾燥地域での水の利用には、飲料水や家畜に与える水、耕地に与える灌漑水などが考えられ、そのような消費を考慮した需要 - 供給モデルが開発できそうではあるが、管見ではみつからなかった。

家畜飼料に関するモデルとしては、たとえば西田・柴田(1995)は飼料(ミレット残さ)および牧草・野草の供給量を推定している。

(2) 複数の砂漠化プロセスを統合したモデル

砂漠化地域モデル

これまで述べてきたような種々の砂漠化プロセスの結果として、砂漠化地域は拡大・縮小する。そのような砂漠化進行プロセスをとくに地理的・空間的にみたモデルとして、概念的なモデルと定量的なモデルが開発されてきている。

まず、砂漠化進行プロセスに関する概念モデルであるが、おもに砂漠化を不可逆的に進行するものとしてとらえるモデル(不可逆的進行モデル)がある。たとえばStebbing(1935, 1938)が「砂漠化は南へ 1km/year で進行する」と述べたように、砂漠化を一方向的・不可逆的なものとしてとらえ、とくに人為的要因を重視する。結果として、砂漠化防止対策としては、緑化の重要性が指摘される。一方、「循環的進行モデル」があり、Hellden(1988)や Binns(1990)は、砂漠化は可逆的で回復可能だとする。この立場は、とくに生物的作用・気候的影響を重視するものである。どちらのモデルを選択するかによって、とるべき砂漠化防止対策も異なってくる。

つぎに、定量モデルとしては、たとえば Grunblatt et al. (1992)は、砂漠化危険度を水食、放牧、植生荒廃、居住、風食の5つのパラメータであらわしている。

また、ロシアの Vinogradov (1995)は、砂漠化地域面積(%)を時間の関数として説明する数学モデルを提案している。また生態系要素面積比(%、列ベクトル)をマルコフ連鎖モデルを用いて、時間の関数として説明するモデルを示している。このどちらのモデル

においても用いているデータ（衛星画像と空中写真）は面的であるが、予測は一定範囲における面積比（スカラー量）またはその構成割合（列ベクトル）となっている。

Mouat et al. (1997)は、米国南西部のコロラド高原を対象として、砂漠化の統合的環境評価モデルを開発した。これは、環境指標として、侵食ポテンシャル、放牧圧、気候的ストレス、植生緑度の変化、雑草侵略率の五つを用いて、これらをGIS上で数値化し、砂漠化の危険度を総合的に評価するものである。

村落レベルのモデル

村落レベルのモデルは、研究事例が少ない。以下の研究では、直接的に砂漠化プロセスをあつかうものではないが、環境資源の需要と供給のバランスを論じたもので、持続的な土地利用システムのあり方を検討するのに有効である。

Proctor (1990)は、南アフリカにおける人口 - 資源バランスの予測を、食糧、家畜飼料、燃料材の3項目について、ふたつのシナリオ（楽観的・現実的）のもとに、七つの仮定を設け、potential / demand を評価基準としておこなっている。このなかでは、収量は土地利用モデル（耕作可能面積）、耕作率（休閑率）、土地生産力、降水量などの関数としてあらわされている。土地利用モデルは、フィールド調査などの結果や空中写真の解析を踏まえて、1961年から1984年までのトレンドを用いて2000年までの予測を行っている。

また西田・柴田(1995)では、ニジェールのニアメイ周辺において、土壌を用いて地域を区分したうえで各土壌区分に対するミレット生産量、飼料（ミレット残さ）および牧草・野草を既存資料および実証圃場での収集データより導き、流域ごとの人口扶養力を推定している。

（3）モデル開発の現状と課題

砂漠化・土地荒廃問題のひとつの特徴は、そのなかに複数の現象を含み、かつその総体としての砂漠化現象が世界的な普遍性をもちにくい点である。モデル開発の現状も、このような砂漠化のもつ特徴を反映している。

第一に、個々の領域においては、かなり精緻なモデル開発がすすんでいる分野もみられる。たとえば水食、人口動態、放牧地植生などの分野においては、多くの研究の蓄積がみられる。それらの個別の現象については、たとえば水食に関する経験的なモデルであるUSLE式や人口動態モデルのように、世界的にも普遍性をもちうるモデルがある。

第二に、複数の砂漠化プロセスを統合したモデルは、数は少ないもののいくつかの研究事例がみられる。これらには二つの流れがあり、ひとつはGrunblatt et al. (1992)やMouat et al. (1997)にみられるように、比較的広域的な土地を対象として、複数の砂漠化プロセスを考慮した砂漠化危険地域の評価をおこなうものである。もうひとつはProctor (1990)にみられるように、村レベルの環境資源の需要 - 供給から人口と資源とのバランスを評価するもので、このなかには過放牧や過耕作のプロセスが考慮されている。

第三に、砂漠化の要因、結果、影響のプロセスを包括的にあつかったモデルは開発され

ていない。砂漠化のプロセスを因果的にみると、貧困や人口増大といった社会経済的な側面および地球規模の気候変動をも含む気候的な側面の両者を含めた砂漠化の要因的なプロセス、水食、風食、塩類化、植生劣化などの砂漠化の物理的なプロセス（狭義の砂漠化プロセス）、そしてその結果生じる経済的損失や、難民、飢餓の発生などの影響のプロセスといった、一連の流れをイメージすることができる。このような砂漠化の因果関係を説明するモデルは、現時点では概念的モデルの段階にとどまっている。これまで開発されてきた定量的モデルのほとんどは、砂漠化の物理的なプロセスを記述するものである。とくに砂漠化の影響のプロセスについては、モデル開発がほとんど手つかずの状態である。

今後のモデル開発の方向性としては、モデルの対象となる空間スケールに応じて、以下の三つの方向がある。すなわち、ここでは村落スケール（数 km 四方程度）、地域スケール（数十～数百 km 四方程度）、大陸・地球スケールの三つに分けて考えてみよう。

村落スケールのモデルとしては、Proctor(1990)がおこなったような村あるいは小流域を単位としてそこにおける資源（食糧、家畜飼料、燃料材）の需要と供給を推定するモデルが有効である。これは、人口抑制施策や改良カマドの効果の評価、土壌劣化の影響の評価にも用いられる。また、どの資源が人口の制限因子となりうるのか、あるいは適正な人口、家畜頭数を知ることができ、究極的には持続可能な土地利用システムの提示にもつながりうる。

地域スケールの研究としては、Mouat et al. (1997)によって示されている GIS アプローチが有効である。この手法では砂漠化の地域的な総合評価を空間モデルを用いておこない、どこで砂漠化が進行する可能性が高いかを示すことができる。将来の砂漠化危険地域を予測することができれば、砂漠化対策の重点地域を特定することが可能になる。

大陸地球スケールのモデルとしては、今回のレビューの対象には含めなかったが、植生（土地被覆）と気候との相互作用を予測するモデルが重要だと思われる。地球規模の気候変化と砂漠化との関連性を議論するのに不可欠である。

また、今後の大きな課題として残されているのは、砂漠化の定量的因果モデルの開発である。上述したように、砂漠化の要因、結果、影響といった一連の因果プロセスを包括的に含むモデルは、現時点では概念モデルにとどまっている。定量的因果モデルの開発のためには、砂漠化研究の総合化と体系化をはかることが不可欠であろう。

恒川 篤史