

第2章 砂漠化・土地荒廃のメカニズム解明とモデル化の可能性

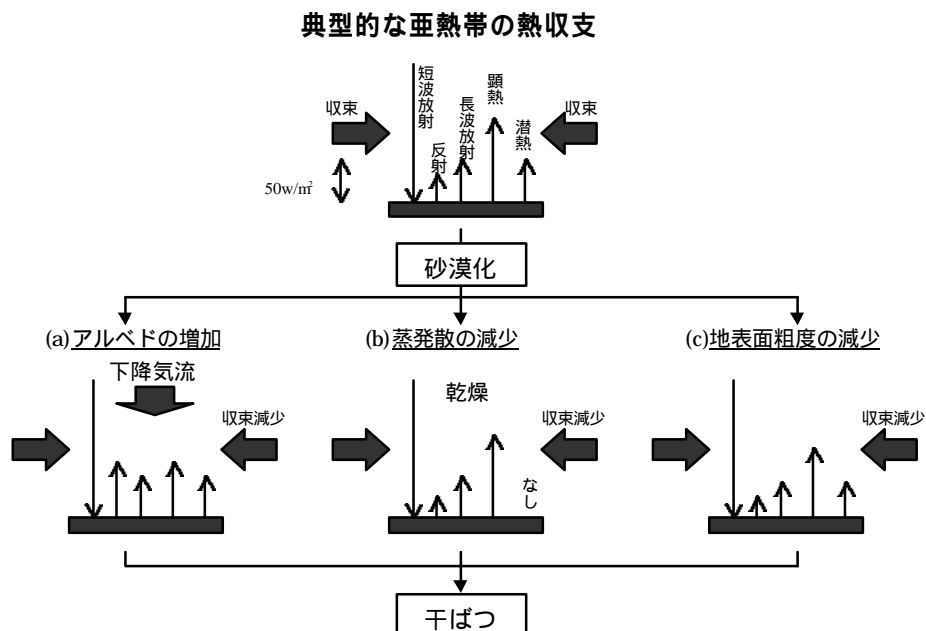
2.1 マクロにみた砂漠化・土地荒廃のメカニズム

ここでは、砂漠化が地域的・広域的な気候に及ぼす影響、なかでも気候に影響を及ぼす重要な現象として、地表面状態の改変を取り上げる。また、環境と植生、砂漠乾燥地の植生、気候変動と砂漠化、植生からみた砂漠化防止について、さらに、広域的気候変動の干ばつ・砂漠化に対する影響についても述べる。特に植物の生長と環境との関係についてまとめ、植物相や植物種の遷移を観察することで、その生育環境の変化、砂漠化や土地荒廃などの指標等への可能性も検討した。砂漠化・土地荒廃の土壌的側面、すなわち土壌劣化について、具体的現象とその要因解析、劣化過程のモデル化手法、具体的対策確立の可能性について議論する。

2.1.1 気候変動と砂漠化・土地荒廃

(1) 砂漠化の気候変動に対する影響

砂漠化の気候変動に対する影響として大気大循環モデルによる数値実験からのアプローチが Charney (1975) の先駆的研究以来行われてきた。それらの研究の多くで、砂漠化の激しいサハラ南縁のサヘル地域が研究対象となってきた。砂漠化が進行すると、アルベドの増加、土壌水分量・蒸発散量の減少、地表面粗度の減少がおり、それぞれが降水を減少させる効果をもつことがわかってきた(下図)。



最近のモデル研究では、大気・陸面過程を現実的に再現できるようになってきたが、モデルで仮定する地表面状態の各特性値の変化量・変化地域が現実と比べて過大評価となっている。したがって、特定の乾燥地域の砂漠化が実際にどの程度干ばつの発生に影響を及ぼしているのかといった定量的な議論をするにはいたっていないのが現状である。

一方、観測事実からのアプローチとして、局地スケール(10²km以下)における観測的研究は、現地観測、航空機観測、衛星観測に基づいて行われてきた。局地スケールで見ると、砂漠化による地表面状態の変化は地域によって多様であり、その気候に対する影響も地域特性を十分に考慮する必要がある。また、広域スケール(10²km以上)における観測的研究は、おもに衛星観測により進められてきた。地表面状態の年々変動は、長期的に進行する砂漠化によるというよりは、降水量の多寡で決まっているものと考えられ、砂漠化が干ばつを発生させるという Charney の仮説を支持するような観測事実は出てきていない。

(2) 広域的気候変動の干ばつ・砂漠化に対する影響

温室効果気体の増加と干ばつ

気候モデルによると、温室効果気体の増加によって、乾燥地域(特に、中高緯度)で全季節にわたって気温が上昇すること、乾燥地域はさらに乾燥化することが予測されている(IPCC,1990、Williams and Balling,1994)。この場合、乾燥地域の陸上生態系は脆弱であるため、温暖化に対して真っ先に影響を被ることになるであろう。

Jones(1994)によると、1901～1993年に陸域全体で気温の上昇は0.44℃であるのに対して、乾燥地域ではそれより大きい0.62℃の気温上昇が認められる。乾燥地域の気温上昇は、中・北部アメリカで最も大きく(約0.8℃)、南米で最も小さい(0.3℃強)。

大気-海洋変動(エルニーニョ/南方振動現象など)と干ばつ

数年周期をもつエルニーニョ/南方振動(ENSO)現象は、太平洋地域を中心とする大気・海洋相互作用で、アフリカ東・南部、南アジア、オーストラリア、南米にある熱帯の半乾燥地域の降水量変動に大きな影響を与えている。

サヘルでは ENSO 現象の影響は比較的小さいが、この地域の少雨傾向の原因として、地表面状態の変化よりも、全球規模の海面水温の変動が重要であるとする研究が近年増えてきている(IPCC, 1990)。近年の傾向として、赤道南大西洋とインド洋の昇温傾向が認められるが(Parker et al., 1995)、これがサヘルの少雨傾向と関係しているらしい。

2.1.2 植生からみた砂漠化・土地荒廃

環境と植生との関係を地球レベルでマクロにみれば、気温と降水量が植生の分布を支配する主な要因であることが知られている。例えば、熱帯地域では、年間を通じて乾燥気候になると、疎林や棘性低木林、草原(サバナ)になり、温帯地域では疎林や低木林、草原(ステップ)へと移行する。これらの地域で、さらに乾燥化が進むと、半砂漠や砂漠が形成される。

一方、植物の生育地の環境による純一次生産力の推定のために、幾つかの半経験式が提案されている。この中で、内嶋らが開発した筑後モデル(Uchijima and Seino 1985)は、

植被と接地気層とのあいだでの二酸化炭素と水蒸気の交換過程および植生地の熱収支式を考慮して、植生の純一次生産力をもとめるもので、実際の生産力を比較的よく推定できることが知られている。このモデルによると、乾燥地では純一次生産力が極端に落ちる。

地球温暖化による気候変化に植生の遷移が追いつかない地域では、砂漠化が進行する危険性がある。また、温暖化に伴う蒸発散量の増大は、降雨の少ない地域をより乾燥化させる可能性があり、一度、砂漠化や土壌荒廃により、生態系が破壊されると回復が困難である。地域レベルでの温暖化影響を予測することは非常に困難であるが、次頁図に、線形多項ロジットモデルによる中国の植生分布図と Robock et al. (1993)の温暖化シナリオ(年平均気温2℃上昇、年降雨量20%増加)に基づく潜在植生の推定図を示す。植生分類と気候条件から、多項ロジットモデルにより植生分布を推定したときの的中率は、各植生帯で異なっていたが、平均で68.7%であった。これに基づき、年平均気温2℃上昇、年降雨量20%増加時における潜在植生の推定をおこなったところ、中国西部、特に砂漠周辺地域では、気温の上昇による水分条件の変化と乾燥化が、ステップやサバンナが砂漠化していく可能性があることが示唆された。

植生の存在も環境に影響を与えるため、砂漠化防止のために植生回復を図る場合、その対象地域の極相に近い植物相を最終的な目標とすることが必要である。

2.1.3 土壌劣化と砂漠化・土地荒廃

土壌劣化の現象と要因としては、1)物理的過程、2)化学的過程、3)生物的過程 - が挙げられる(Lal and Stewart(1990,1992))。また、水食、風食、土壌塩性化について、その劣化過程の作用機構の解析を通じ、各パラメータを用いたモデル化が試みられている。

将来、土壌劣化を抑え、持続的に土地資源を利用するためには、土壌のみならず植生や水資源などを含めた農耕地および自然生態系における物質循環を保証するような土地利用システムの確立が必要であるが、そのシステムに含まれるべき個々の技術はそれぞれの自然および社会経済的環境に応じて選抜されねばならない。さらに、そのようなシステムを構築するためには、良質の気象情報の収集や現行システムのモデル化などを着実に進めていくことが肝要である。

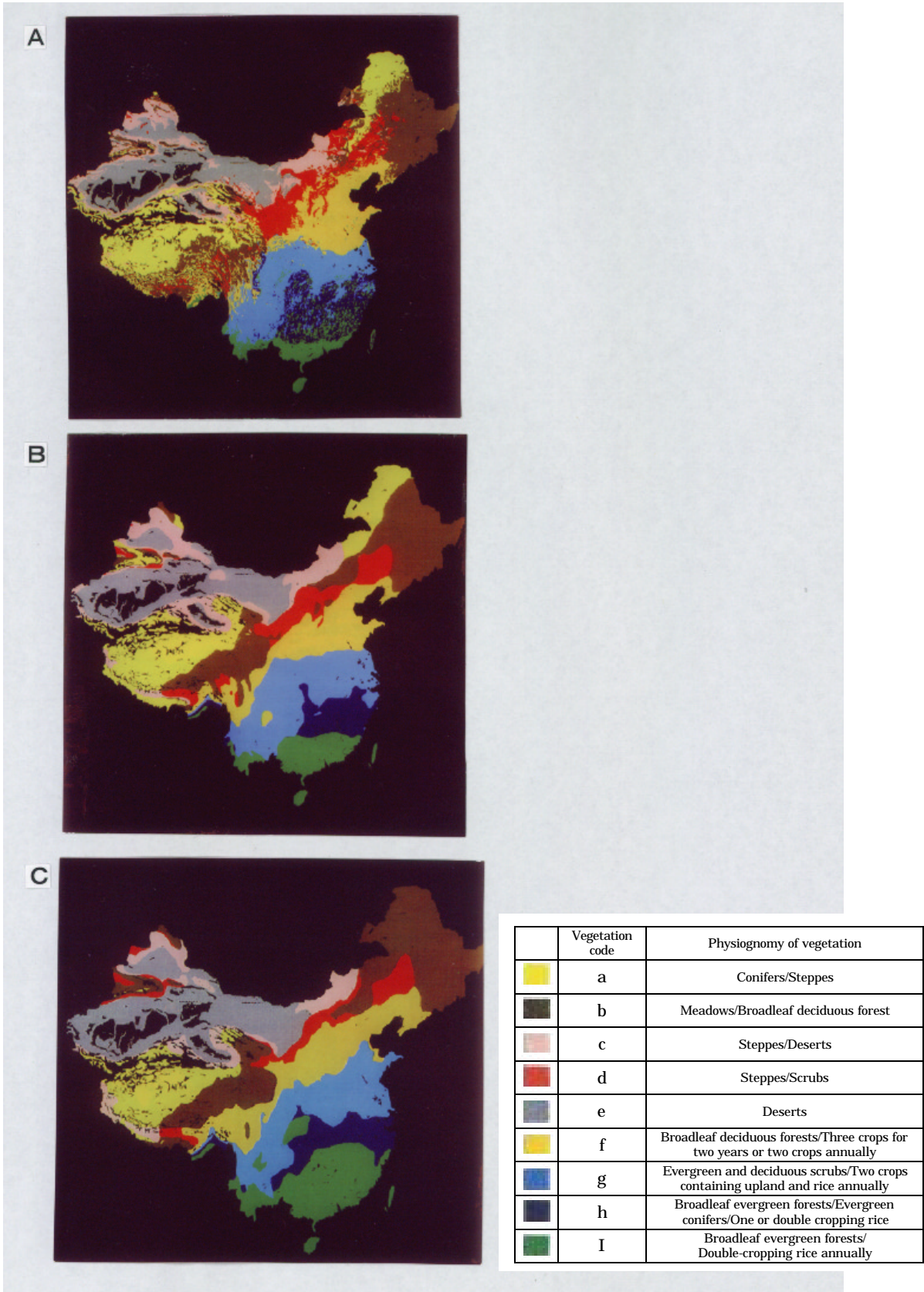
2.2 地域的にみた砂漠化・土地荒廃の自然的・社会的メカニズム

ここでは砂漠化・土地荒廃現象の捉え方と地域的にみた砂漠化・土地荒廃問題を中国とアフリカを例に自然的・社会的メカニズムの検討をおこなった。

2.2.1 砂漠化・土地荒廃現象の捉え方

(1) 普遍化への努力

砂漠化・土地荒廃問題には強い地域特性が存在するものの、問題解決を図っていくために、普遍化の努力を行うべきである。最も急がれるのが、砂漠化・土地荒廃モデルの提示であり、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。



線形多項ロジットモデルによる中国の植生分布図と Robock et al. (1993)の温暖化シナリオ(年平均気温2 上昇、年降雨量20%増加)に基づく潜在植生の推定図

(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。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。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。

(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。また、その目的には、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。

両者を統合するためには、1) 社会システムの再構築の必要性、2) 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、3) 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。

(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。

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。

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

中国の砂漠化・土地荒廃は依然として拡大傾向にある。「荒廃地」と区分される面積は国土の27.3%に達し(中国林業省1997「中国砂漠化報告」)、最近20年間に平均2,460km²/年の速度で砂漠化が進行している。この節では、中国東部の三つの地域のランドサットデータを用いた砂漠化進行状況のモニタリング結果、および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・社会的メカニズムを検討した結果、以下のようなことを明らかにした。

長期間の砂漠化の進行には、時代ごとの土地利用のあり方が大きく関与している。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。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。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。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。

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

従来の砂漠化防止対策は、「土地劣化の防止」など、自然現象としての砂漠化防止策が先行しすぎ、人間生活の改善に目が届かなかったたきらいがないでもない。例えば放牧が土地劣化の元凶だからこれを禁止すればよい、というのは牧畜が乾燥地に適した生業として発達した事実を無視した発想である。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。

こうした観点から、実効的な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。

1) 地球・人間環境学的な国際政治学の必要

歴史的に見れば文明の中心であり、決して貧困地帯ではなかったサハラ南縁地域などの乾燥地域が、なぜ今世界の最貧国として砂漠化に苦しんでいるのか。これは自然現象としての砂漠化のみで説明のつくことではない。多様な生業と地域間の交流に恵まれたこれらの地域の文化的、歴史的な背景をふまえた上で、本来機能していた地域間交流や相互援助などのシステムを再構築するなどのアプローチが必要である。

2) 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

乾燥地には多様な水資源が存在し、古くから複雑精緻な水利用を構築してきた。こうした乾燥地の知恵を学びつつ、精緻な灌漑システムに立脚する日本の稲作などの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ことになる。

2.3 砂漠化・土地荒廃現象に関するモデル化の可能性

ここでは、砂漠化と関連するモデルをレビューし、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は、まず個別の砂漠化現象に関するモデルがある。水食、風食、塩類化、および過放牧などの砂漠化・土地荒廃の主要なプロセス、また人為的な要因の駆動力(driving force)として主要なパラメータとなる人口のそれぞれについて、モデル化の研究がある。また、砂漠化・土地荒廃が、種々の環境資源の需要と供給のアンバランスから生じるため、この分野でもモデルが提案されている。

さらに、これらの種々のプロセスを統合したモデルについても開発が進められている。

(1) 個別の砂漠化プロセスに関するモデル

水食：経験的モデル/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。代表的なものに土壌損失量を、降雨侵食度、土壌侵食度、斜面長などにより説明する USLE モデルがある。物理的モデル/土壌粒子の挙動を侵食のメカニズムや水文的原理によって推定するもの。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モデルなどがある。

風食：例えば風食ポテンシャル、裸地率、粗砂率の3つのパラメータで風食の飛砂量をあらわす式などがある。

塩類化：塩類化の程度を予測するものは種々あるが、塩類集積のモデルは見られない。
植生：とくに放牧地植生に関するモデルについては多くの研究が蓄積されてきている。
人口：分析的方法 / 人口の時系列データをもとに変動の傾向を把握し将来予測を提示している。要因別推計法 / 人口動態統計、人口移動統計等から変動の内容を提示している。
環境資源の需要 - 供給バランスに関するモデル：特に砂漠化と関連したものとして、例えば、食糧消費・生産について土壌劣化の因子等を取りこんで提示したものなどがある。

(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：概念モデル / 砂漠化進行プロセスを不可逆的・一方的だとするモデル、砂漠化は可逆的で回復可能だとするモデルがあり、どちらを選択するかによって対策は異なってくる。定量的モデル / 砂漠化危険度を水食、放牧、植生荒廃、居住、風食に5つのパラメータであらわすモデル (Grunblatt et al.(1992))、環境指標として侵食ポテンシャル、放牧圧、気候的ストレスなどを用い、GIS上で数値化した評価モデル (Mouat et al.(1997)) など。

村落レベルのモデル：環境資源の需要と供給のバランスを論じたモデルなどがあり、持続的な土地利用システムに有効である (研究事例が少ない)。

(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。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。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、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などである。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り、今後の大きな課題として残されている。

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室内スケールに応じて以下の三つの方向がある。

村落スケール (数 km 四方程度) のモデルとしては、Proctor(1990)が行ったような環境資源 (食料、家畜飼料、燃料材) の需要と供給を推定し、その収支から土地利用の持続性を評価するモデルが有効である。

地域スケール (数十 ~ 数百 km 四方程度) のモデルとしては、Mouat et al.(1997)によって示されている GIS アプローチ、すなわち空間モデルを用いた砂漠化危険度の地域的な総合評価が有効である。

大陸・地球スケールのモデルとしては、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である。