

G-2 砂漠化指標による砂漠化の評価とモニタリングに関する総合的研究

(1) 砂漠化の評価およびモニタリングに関する研究

独立行政法人国立環境研究所

国際室

清水英幸

環境研究基盤技術ラボラトリー 環境生物資源研究室

戸部和夫

東京大学大学院農学生命科学研究科

恒川篤史

(財)地球・人間環境フォーラム

地崎 剛・邱 国玉・安 萍

(株)パスコ

洲濱智幸

パシフィックコンサルタンツ(株) 環境事業本部地球環境部

梶井公美子・安部和子

〈研究協力者〉 独立行政法人農業環境技術研究所

大黒俊哉・大倉利明

筑波大学農林学系

石 敏俊

京都大学大学院地球環境学堂

小崎 隆

東京都立大学大学院理学研究科

篠田雅人

平成 13～15 年度合計予算額 87,710 千円

(うち、平成 15 年度予算額 29,396 千円)

上記の予算額には、間接経費 20,618 千円 (6,784 千円) を含む

[要旨]

世界的な問題となっている砂漠化に対処するためには、科学的な砂漠化評価手法の開発が不可欠である。本研究では、砂漠化対処条約に資する成果を提示することを目的に、様々な角度から砂漠化評価に関する研究を推進した。

砂漠化対処に関する国家行動計画に資するため、既存の砂漠化の評価手法の問題点・課題をふまえ、行政単位レベルにおける望ましい砂漠化評価システムの枠組の検討、指標の選定・体系化、具体的な評価手法の検討を行った。評価の空間的な単位は、政策決定者が砂漠化対策に予算・人等のリソースを投入する際の基礎的な単位となる可能性が高い行政単位とし、評価システムの枠組は、背景情報、砂漠化の要因、現状、影響、対策等の視点を含む総合的なものとした。指標の選定・体系化を行い、実際のデータを用いた試行を通じて具体的な評価手法等を検討し、行政単位における砂漠化評価システムを構築・提示した。

広域レベルの砂漠化評価手法として、衛星データや気象データを用いて、砂漠化の植生荒廃プロセスを統一的な基準で評価する手法を開発した。すなわち生物生産力(NPP)を指標として、現状の NPP を潜在的な NPP と比較し、砂漠化地域を抽出する方法(潜在-現状比較法)、および過去からの NPP のトレンドを分析し、NPP の低下してきた地域として砂漠化地域を抽出する方法(トレンド法)を試みた。前者については、広域的な NPP を推定するモデルを開発し、中国およびカザフスタンにおいて観測されたフィールドデータを用いて 2000 年・2001 年のアジアにおける現状 NPP 地図を作製した。また気候的な潜在 NPP を推定するモデルを用いて、2000 年・2001 年の気候的潜在 NPP 地図を作製した。現状 NPP を潜在 NPP と比較する手法を改良し、より正確な 2000 年・2001 年のアジアにおける植生荒廃地の分布を示すことができた。後者については、光合成有

効放射吸収率(FPAR)、葉面積指数(LAI)、4種類の気候データ(純放射、日最低気温、日平均気温、飽差)および土地被覆図を用いた生産効率モデルにより、1982年から1999年までの全球陸域NPPを推定した。1982~1990年の9年間と1991~1999年の9年間についてそれぞれ平均NPPを計算し、両者を比較することによって生物生産力の減少地域を抽出した。その結果、GLASODで報告されているのと同様、中国北東部から黄土高原にかけて、モンゴル中緯度地域、ロシアとカザフスタンの国境周辺、インド北西部などでNPPの減少が認められた。さらにカザフスタン中央部、バルハシ湖北部などGLASODで報告されていない地域でもNPPの減少が認められた。

村落レベルの砂漠化を評価するため、土地荒廃→生物生産力の減少→人間生活への影響という、一連の砂漠化プロセスをシミュレートする砂漠化統合モデルを開発した。サブテーマ4で収集した中国内蒙古自治区ジュンガル旗のゲチェンヤン村での調査データおよびサブテーマ1で収集した内蒙古武川県の4村落での調査データを用いて、生物生産力モデル(EPICモデル)、農家経済モデル(線形計画モデル)、需給評価モデルという3タイプのモデルを連動させたモデルを開発し、各モデルの改良・試行を行った。このモデルによって、退耕還林還草政策等の実施による土地荒廃防止の効果をシミュレーションした。ゲチェンヤン村では、この政策を実施せず、すべての傾斜地を畑にした場合に比べ、退耕還林還草政策の導入によって土壌侵食量が大幅に減少する。しかし同時に農家所得も緩やかに減少する。傾斜畑をすべて草地とすると、土壌侵食量は348tから40tまで減少できると予測された。また、退耕還林還草政策の導入手段として補助金を付加する場合、畝(0.67ha)当たり160元以上の補助金を付加すると、傾斜畑の栽培中止が増え、土壌侵食量が減り始め、同時に農家所得も減少することなく、土壌侵食を抑制できることが推測された。一方、武川県でも同様に補助金の導入によって退耕還林還草が進むと予測されたが、その金額は60元となりゲチェンヤン村よりも低かった。また将来、このような対策を取らない場合、土壌侵食にともなう作物生産力の減少によって現状の人口ですら維持できなくなる可能性が示唆された。

〔キーワード〕 砂漠化対処条約、指標と評価、生物生産力、モデル、モニタリング

1. はじめに

1992年のリオサミットから10年以上たった今でも、国連の公式な砂漠化評価には36億haという当時の数字がそのまま使われている。しかも、その評価は各国の専門家等からの聞き取りを中心としたものであり、客観的なデータに基づくものではない。砂漠化対処条約(UNCCD: United Nations Convention to Combat Desertification)の締約国会議においても、繰り返し、科学的な評価・モニタリング手法の確立が求められている。2002年10月には、UNCCDの科学技術委員会(CST: Committee on Science and Technology)のもとに専門家グループ(Group of Experts)が置かれ、砂漠化問題、特に、砂漠化評価の具体的な提言を行うための作業が開始された。また、アジアにおけるテーマ別プログラムネットワーク(TPN: Thematic Programme Network)という地域活動の中では、「砂漠化のモニタリングと評価」をテーマとした枠組み(TPN1: Thematic Program Network on Desertification Monitoring and Assessment)が実施されており、これまで我が国はその活動を積極的に支援してきた。本研究ではこのような国際的な砂漠化評価・モニタリングへの取り組みに貢献することを視野に入れ、研究を展開した。

2. 研究目的

本研究では、下記の3つのテーマを設定して実施した。

①国家行動計画支援のための砂漠化評価手法の検討：既存の文献等の情報から、砂漠化の評価手法のレビューを行い、その現状と問題点を整理するとともに、行政単位を評価単位とする砂漠化評価システムを検討することにより、砂漠化の背景、要因、状態、影響、対策効果等の視点を含む総合的かつ統一的な砂漠化評価システムの確立に資することを目的とする。本研究の推進においては、本サブテーマのみならず、他の地域サブテーマで得られた情報の提供も受けて解析した。

②広域レベルにおける砂漠化モニタリング手法の開発：衛星データ等を用いて広域的生物生産力を推定する手法を開発し、砂漠化の植生荒廃プロセスを定量的にモニタリングする手法を構築することを目的とする。特にサブテーマ4やサブテーマ5と連携し、中国やカザフスタンのモニタリング調査区などの自然環境データの解析を行い、これらを用いて、手法の検証・改良を行った。最終的には現在までの情報からアジア乾性地域における砂漠化地図を作成した。

③村落レベルにおける砂漠化統合モデルの開発：具体的にサブテーマ4と連携し、中国内蒙古地域のいくつかの村落調査データを用いて、生物生産力モデル、農家経済モデル、需給評価モデルという3タイプのモデルを開発・試行・検証すると共に、それらの統合化について検討することを目的とする。これを用いて、政策・対策の効果、砂漠化の将来予測等を行った。

3. 国家行動計画支援のための砂漠化評価手法の検討

(1) 研究方法

① 既存の砂漠化評価手法の把握・整理

砂漠化対処条約締約国会議(UNCCD/COP)やFAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)、UNDP (United Nations Development Programme)等の主要な国際機関等の文献等情報から、砂漠化の評価手法の検討状況を把握するとともに、既存の評価手法についてスケールや指標の性格、評価の具体的手法および利用可能性に着目して、その現状と問題点を整理した。

② 行政単位における砂漠化評価システムの検討

行政単位レベルの砂漠化評価手法・システムの検討にあたっては、既存の砂漠化評価手法の現状と問題点をふまえ、まず、本評価単位(行政単位)における評価の位置付けを整理した。

つぎに、評価単位とする行政単位の決定方法について検討した。国家レベルにおける汎用的な評価システムでは、各国内の自然条件、社会条件等の特性に基づくクリティカル・イシューを十分加味した評価が困難となる可能性がある。そのため、より詳細な行政単位(準国家レベル)での評価が必要となる場合の条件を整理し、評価単位の決定方法を検討した。

評価システムの枠組については、行政単位レベルの砂漠化評価の位置付けをふまえて、まず、砂漠化のメカニズムの概略を整理し、それをもとに望ましい枠組を検討した。さらに、その枠組の支柱となる砂漠化の背景、要因、状態、影響、対策効果等の視点を含む指標の選定を行った。

各指標を評価するための尺度や評価式、評価の表現方法等の具体的な評価手法については、実際のデータを用いた評価システムの試行により、指標ごとに検討することとした。試行を行う国の選定にあたっては、始めに、過去の研究事例や取り組み等により比較的データ・情報の蓄積が

多いと考えられる国を抽出した。さらに、本研究が汎用的な砂漠化評価システムを目指していることから、気候や経済状況、人口密度等のバランスや、他のサブテーマでの研究対象国を考慮して抽出した。

抽出した国の国別データを用いて、国家レベルにおける汎用的な評価システムによる評価を試みた。さらに、一部の国については、より詳細な行政単位(準国家レベル)における評価方法についても検討した。

試行にあたり必要となるデータ・情報については、国家レベルについては、主に、FAO や UNDP、WRI (World Resources Institute)等の国際機関のデータベース、各国の国別報告書等から、準国家レベルについては、各国の統計資料等から収集し、整理・加工した。また、砂漠化の状態を表す指標作成に必要となる現状および潜在の生物生産力(NPP)推定値と乾燥指数による地域区分は、広域スケールの砂漠化評価における結果を用いた。データの対象年は、基本的に2000年(過去の情報については1990年)とし、可能な限り当該年のデータを収集した。なお、国家レベルのデータ・情報収集は、NPP等のデータ以外は、選定した対象国以外の国についても実施し、評価手法の検討に際しての参考とした。また、砂漠化の状態を表す指標に関しては、NPPのデータと統計データとの違い・傾向を確認するため、現状NPPの変化と、統計データによる農業生産性の変化を比較した。

(2) 結果・考察

① 既存の砂漠化評価手法の把握・整理

ア：既存の砂漠化評価手法の検討状況

(ア) 砂漠化対処条約関連会議における検討状況

砂漠化対処条約に関連する会議等の文書など、約30件の文献についてレビューを行った。砂漠化対処条約政府間交渉委員会や締約国会議(COP)における検討状況は以下のとおりである。

1990年代初めに、砂漠化対処条約政府間交渉委員会の活動を支援するため、砂漠化に関する国際専門家パネルにより砂漠化の現状を評価するための「ミニマムデータセット」が提唱され、これを用いて、アフリカの4ヶ国等を対象として、ケーススタディが実施された¹⁾。

ミニマムデータセットは、5つの変数(気候、土壌と水、植生、土地利用、社会経済)と35の具体的な指標で構成され、調査対象地域において最低限調査すべき項目をまとめたものであり、各国の状況を比較検討する際の共通の指標として活用することが可能である。しかし、その定量的・客観的基準、測定方法等については、確定されていない。また、地域固有の性格を評価するためには、別途何らかの固有の指標が必要であると指摘されている²⁾。

その後、砂漠化の評価は「基準(benchmark)と指標(indicator)」として議論され、「条約実行の評価指標」と「影響指標」の2つの指標群が検討されている。前者については既に具体的な指標が提案され³⁾、後者についても指標を決定するための方法論が示されている⁴⁾。しかし、COP3およびCOP4に提出された各国の国別報告書には、報告書作成のためのヘルプ・ガイド⁵⁾において、報告書の枠組みの中に実行評価指標が組み込まれているために指標が利用されてはいるものの、これら指標の試行に関する報告がほとんどなく⁶⁾、現状では、実際に砂漠化への対策実施状況や

砂漠化による影響を評価・検討する上で、これらの指標が実質的に効果的に利用されるまでには至っていないと推察される。

一方、TPN1では、「砂漠化のモニタリングと評価」を検討している。2001年10月に開催されたアドホックグループ会合では、アジア地域の砂漠化のモニタリングと評価における基準と指標システムの共通セットが提示され⁷⁾、その後も検討が進められ、2003年10月に開催されたTPN1会合では、多数の指標を含む指標群が概ね決定された。TPN1で検討されている指標群は、砂漠化を引き起こしうる「圧力」、砂漠化の「状態」、砂漠化による「影響」、および砂漠化対処に関する「実行」という、砂漠化に関連する一連の事象を包含する枠組で提示されている。

(イ) その他の検討状況

UNCCD 関連会議以外の国際機関、国別機関等において検討されている砂漠化の評価手法について、約10件の文献についてレビューを行った。砂漠化の評価手法について、情報を調査した機関は7機関である。

FAOによるLADA (Land degradation Assessment in Dryland Areas)プロジェクトやUNDP (United Nations Development Programme)、UNEP (United Nations Environment Programme)、WRI (World Resources Institute)、世界銀行などによるミレニアムエコシステムアセスメント(MA)など、土地荒廃や生態系の状態評価に関するプロジェクトが開始されている。また、砂漠化あるいは砂漠化に関連する事項についての評価手法として、WRIとUNDPにより乾燥地人口評価⁸⁾の手法が、米国農務省(USDA: United States Department of Agriculture)により世界の砂漠化緊迫地帯の評価⁹⁾、風食/水食に対する脆弱性の評価¹⁰⁾等の手法が検討されている。

LADAプロジェクトでは、2002年から2年間の手法開発フェーズが立ち上げられ、評価手法等の開発が進められている。MAでは、MA実施手法をとりまとめた報告書“Millennium Ecosystem Assessment Methods”¹¹⁾が示されている。MAにおいて生態系の価値は、利用価値(直接的・間接的・選択)と非利用価値を含む実用的な価値と、本質的な価値として捉えられている。MAの分析のアプローチは、生態系やそのサービスを分類し、指標を特定し、駆動力の特定と、生態系・サービス・駆動力のトレンドと現状の評価、人間へのサービスにおける変化の影響の評価、シナリオの開発、対応オプションの評価を行い、評価結果の不確実性の分析と情報交換を行うものである。

イ：既存の砂漠化評価手法の特徴・課題

各機関における指標を用いた砂漠化評価手法の開発・検討事例について、自然科学的、社会経済的な側面や、要因・状態・影響・対策効果等の各側面を含む「包括性」、評価の基礎的単位となる「時間的・空間的スケール」、指標を作成・利用する立場での「データ入手の容易さ」等の視点から整理した。

その結果、「包括性」では、砂漠化対処条約関連会議で、「対策実施状況」と砂漠化の「影響」の側面を含む指標体系が提示されているが、砂漠化の「要因」や「状態」等の側面からの指標は、この体系の中に含まれておらず、また、具体的に提案されている「対策実施状況」の指標は、法制度の整備状況や財政メカニズムの構築状況等、社会経済的側面の指標が中心であった。「影響」の指標については、具体的な指標が提示されておらず、指標決定のための方法論が示されているのみであるが、その中では社会経済的側面も含むとされている。

WRI、UNDP、USDA等の機関では、砂漠化の状態や砂漠化に対する脆弱性を地図化して評価する試みもあるが、砂漠化の「要因」や「状態」の側面に主眼をおいた評価であり、また、人口密度等の社会的要素が加味されている事例もあるものの、土壌、気候、水文、生物等の自然科学的側面からの評価が中心となっていた。

一方、TPN1 会合では、砂漠化の駆動力や圧力、状態、影響、対策の実行という各側面を含む指標の枠組¹²⁾等の提案をふまえて議論が進められ、TPN1 の基準と指標のシステムは、圧力指標群(Pressure indicators)・状態指標群(State indicators)・砂漠化影響指標群(Desertification impact indicators)・実行指標群(Implementation indicators)の4つの側面で構成されているものとなっている。

このような因果関係に基づく指標の枠組としては、OECDにおいて人間活動と環境との関係を扱う共通のアプローチとして採用されたPSRフレームワークがあり、環境情報を体系的に整理し、指標化するための概念的枠組として広く知られている。PSRフレームワークは、環境への負荷(Pressure)、負荷による環境の状況(State)の変化、これに対する対策(Response)の実施、の3つの側面からなる枠組であり、OECDでは同枠組に基づき、指標のコアセットが体系的に整理されている¹³⁾。同様の枠組には、国連持続可能な開発委員会のDSRフレームワーク¹⁴⁾等がある。DSRフレームワークでは、OECDのPSRフレームワークの“Pressure”を“Driving Force”と変更し、人間活動による負荷の良い側面と悪い側面の双方が考慮される形となっている。また、EEA (European Environment Agency)では、DPSIRの枠組が示されている¹⁵⁾。DPSIRの枠組では、環境への影響を示す部分がD (Drivers)とP (Pressures)に区分されており、Dでは経済活動等の間接的な要素が、Pでは大気汚染物質の排出量等の環境に直接的に作用する要素が指標として挙げられている。また、環境自体の状態を示す側面S (State)と、健康影響等の環境変化による影響を示す側面I (Impact)が区分されている。

TPN1 で提案されている指標群では、大きな枠組の段階では、“Driving Force”と“Pressure”を区別しておらず、モデル構築時に再区分を行うことが検討されている。一方、“State”については、砂漠化自体を示す指標群とし、砂漠化による「影響」を示す側面とは明確に区分された。また、TPN1 の指標の枠組の中では、自然科学的な指標と社会経済的な指標の双方が含まれ、農業気候区分(乾燥、半乾燥、乾燥半湿潤)等も考慮されている。このように、TPN1 の指標群は、砂漠化に関連した一連の事象を包含する指標の枠組となっており、包括性があるものの、これらの指標を用いた総合的な評価手法の具体的な提案は示されていない。

「時間スケール」については、ほとんどの事例が現状の状態、対策実施状況等を対象としており、評価に考慮すべき時間スケールに特に言及している事例は少なかった。「空間スケール」については、様々なスケールでの評価手法がみられたが、これは、評価の目的や指標のもつ性格に応じて求められる空間スケールが異なることによるものと考えられる。また、指標の汎用性という点に関して、どの地域においても共通に利用できる汎用性のある指標の最小コアセットを明確化することが重要であるとの提言や、砂漠化の影響を表す指標は地域レベルに焦点をあてるべきであるとの提言等がみられた。

「データ入手の容易さ」については、いくつかの事例について検討したところ、既存の統計等から比較的容易に入手し得るものがある一方で、衛星画像の利用や現地調査での入手が想定されるものもあった。実際に、指標を用いた評価や対策の検討を促すためには、指標の検討において、

「包括性」等の視点とあわせて、指標作成のためのデータ入手の容易さについても技術的、資金的、人的な側面から留意する必要があると考えられた。

ウ：既存の砂漠化評価手法における指標の比較

既存の砂漠化評価手法の中で、指標のリストが挙げられている4事例について、指標の比較を行った。要因・状態・影響・対策等の枠組や指標が対象とする項目等の観点を考慮すると、全ての指標リストは概ね網羅的であることが示されたが、一部、対策に関する指標群や土壌や地形に関する指標群等が無いなどの違いが確認された。

指標について、さらに詳細に検討した結果、各事例に共通した指標であるにも拘わらず、事例により「要因」の指標として捉えていたり、「影響」の指標として捉えていたりする場合があります。「要因」と「影響」の指標における明確な区分が困難であることが示唆された。また、同じ「人口」を対象とした指標でも、人口、人口密度、人口増加率等、手法による違いが確認された。手法の用い方等に応じて、このような指標の具体的内容について検討する必要があると考えられる。

②行政単位における砂漠化評価システムの検討

ア：行政単位レベルにおける砂漠化評価システムの意義

砂漠化対処条約では、国家行動計画の策定とその実施が求められており、国家レベルでの取組が必要になる。一方、砂漠化問題は、本来、行政界で区切られるものではなく、同様な砂漠化が進行している地域(気候・土壌・土地利用など)ごとに対処すべきである。しかし、国による対策まで考えると、行政単位レベルでの検討は不可欠となる。本研究では、このような観点から、国家行動計画支援のための、行政単位レベルの砂漠化評価手法について検討する。

砂漠化評価においては、対象とする空間スケールにより評価の目的や役割が異なると考えられる。スケールとしては、広域(地域)レベル、国家・準国家レベル、村落レベルの3段階の空間スケールが考えられるが、各空間スケールにおいて想定される砂漠化評価の目的等を表1のように整理した。

表1 各空間スケールにおける砂漠化評価手法の目的等

スケール	目的	役割	利用者	主なデータ・手法等
広域	緊急な対応が必要な地域や当面の対応が必要な地域、影響を受ける潜在性がある地域を抽出する。	共通する基準で、世界の砂漠化の概況を把握する。	国際機関、国家政策担当者	リモートセンシング等
国家・準国家	砂漠化対処のために、リソースを注ぐべき対象を明らかにする。	砂漠化の現状を把握するとともに、その要因、影響、対策を把握し、重要な要素を抽出する。	国際機関、国家政策担当者	統計データ等
村落	具体的な砂漠化対策を検討する。	人間活動や自然的要因と砂漠化との関連を定量的に把握する。	国家政策担当者、地方自治体行政担当者	現地調査等

国家・準国家という行政単位レベルは、広域レベルと村落レベルの中間に位置する空間レベルである。広域スケールにおいて砂漠化の概況が把握され、また、村落レベルにおいては具体的な

対策が検討されるが、行政単位レベルは政策決定に関わるレベルであり、広域における評価と村落における評価の間で、その行政単位において必要な砂漠化対策を効果的に実施するため、対策を必要とする対象を明確化する必要がある。いいかえれば、ある行政単位がそもそも砂漠化に関して深刻な状況にあるのか、深刻であるとすればその要因の研究調査等が課題なのか、あるいは既に因果関係は明確であり、早期に現地での対策を実施すべきなのか等、その行政単位が予算や人等のリソースを注ぐべき部分を明らかにすることが重要となる。そのため、行政単位レベルにおける評価においては、砂漠化の現状はもとより、その要因・影響および現状の対策実施状況の関係・バランスを把握し、その行政単位の将来の対応方向を検討する上でとくに重要な要素を把握することが必要となる。

イ：評価単位の決定方法の検討

行政単位で評価を行う場合、国家レベルでの評価システムでは、各国内の自然条件等の特性に基づくクリティカル・イシューを十分加味した評価が困難となる可能性がある。そのため、より詳細な行政単位(準国家レベル)での評価が必要となる場合の条件を整理し、評価単位の決定方法を検討することとした。

まず、国家レベルでの砂漠化の評価が可能な条件としては、評価対象国内の自然条件がある程度均一であることが重要となる。この均一さの程度を表すものとして、乾燥地域、半乾燥地域、乾性半湿潤地域の面積を利用する方法を検討した。乾燥地域、半乾燥地域、乾性半湿潤地域は、砂漠化対処条約が対象としている地域である。各行政単位における乾燥、半乾燥、乾性半湿潤地域の面積の割合を用い、図1に示すような評価対象行政単位決定フローを作成した。

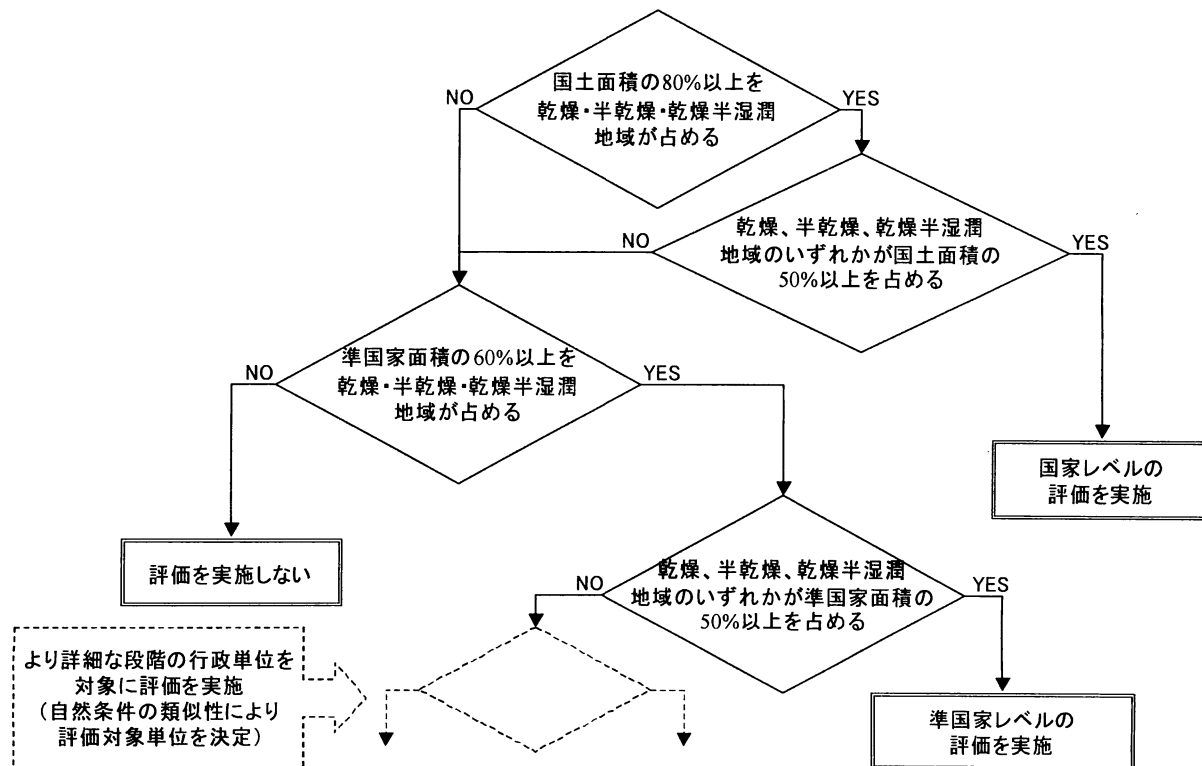


図1 評価対象とする行政単位の決定フロー

乾燥、半乾燥、乾性半湿潤地域の面積が国家面積に占める割合が大きい国で、かつ、これら3つの地域のいずれかが国家面積の半分以上を占めている場合、国内の自然条件がかなり均一であると捉え、国家レベルでの評価を実施することとした。

乾燥、半乾燥、乾性半湿潤地域の面積が国家面積に占める割合が小さい国、あるいは、割合が大きいものの、3地域のいずれかが国家の半分以上の面積を占めていない場合は、国内の自然条件が上記の場合に比べ均一でないことと捉えられることから、さらに詳細な行政単位(準国家レベル)での評価を実施することとした。

次に、準国家レベルで見た場合、準国家レベルでの3地域の面積の合計がそれほど大きくない場合は、その準国家単位そのものを評価の対象とせず、面積合計が大きい場合は、国家レベルと同様に、3地域のいずれかの面積が準国家面積に占める割合を見て、評価対象単位を決定することとした。準国家レベルにおいても、3地域のいずれかの面積が全体の半分以上を超えない場合には、さらに詳細な行政単位における評価を行うこととした。中国のような広く国土環境も多様な国の場合には、こうした段階的な対応が必要であろうと思われる。

なお、本研究における試行では、データ・情報の入手における制約から、国家レベルおよび準国家レベルにおける評価までを実施している。

ウ：メカニズムの概略整理

行政単位レベルにおける砂漠化評価システムの意義(前記ア参照)を考慮すると、本レベルにおける砂漠化評価システムにおいては、砂漠化の現状のみならず、その要因や影響、および現状の対策実施状況等の関係・バランスを把握することが重要と考えられた。一方、既存の砂漠化手法のレビューにおいては、TPNIにおいて、砂漠化の要因、現状、影響、対策の4つの側面をとらえた包括的な指標の枠組が提示されていることが明らかになった。そこで、この4つの視点をふまえつつ、砂漠化のメカニズムの整理を行った(図2)。

砂漠化対処条約において、砂漠化が、「乾燥、半乾燥およ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」と定義されているように、ある背景(B: Background)において、砂漠化は、自然的要因および人為的要因(P: Pressure)が、土地資源に変化をもたらす(S: State)、その結果、生産性が低下し、人間の生活や生態系への影響が生じる(E: Effect)というメカニズムであり、これらに対して対応(R: Response)がとられている。

ここでは、他のサブテーマの対象地域やその他の地域における既存の砂漠化研究事例、既存の評価手法における指標群等を参考に、複雑で多様な砂漠化のメカニズムを可能な限り網羅的かつ簡略化することに留意して、砂漠化メカニズムの具体的な関係を図3のように整理した。これは、図2に概ね包含される図となった。以上の整理から、行政単位レベルの砂漠化評価の枠組としては、図2に示すB-P-S-E-Rの各側面を包含するものが想定された。

エ：評価軸と指標の検討

本研究の目指す評価システムでは、B(Background)-P(Pressure)-S(State)-E(Effect)-R(Response)の関係やバランスの把握に重点をおくため、評価結果は基本的にレーダーチャートを用いて、チャートの各評価軸がP、S、E、Rの評価結果を示す形とした(以下、「総合レーダーチャート」と呼ぶ)。また、Pについては、自然的要因と人為的要因とを区別し、自然による負荷(P1)、人間活動

の負荷(P2)の 2 つの側面からの評価軸を設けた。評価結果は 4 段階のレベルで示すこととし、レベル数値が高いほど砂漠化対処の面から見てその国が望ましくない状態にあることを示している。

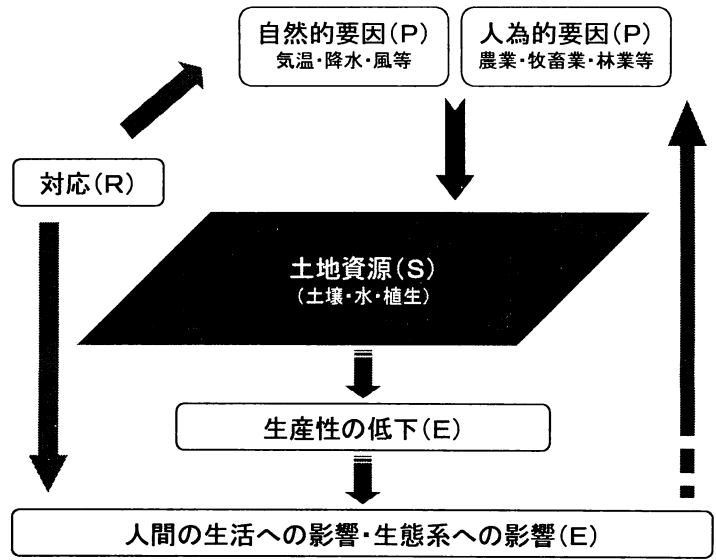


図 2 砂漠化メカニズムの概略

砂漠化メカニズムの概略 (拡大)

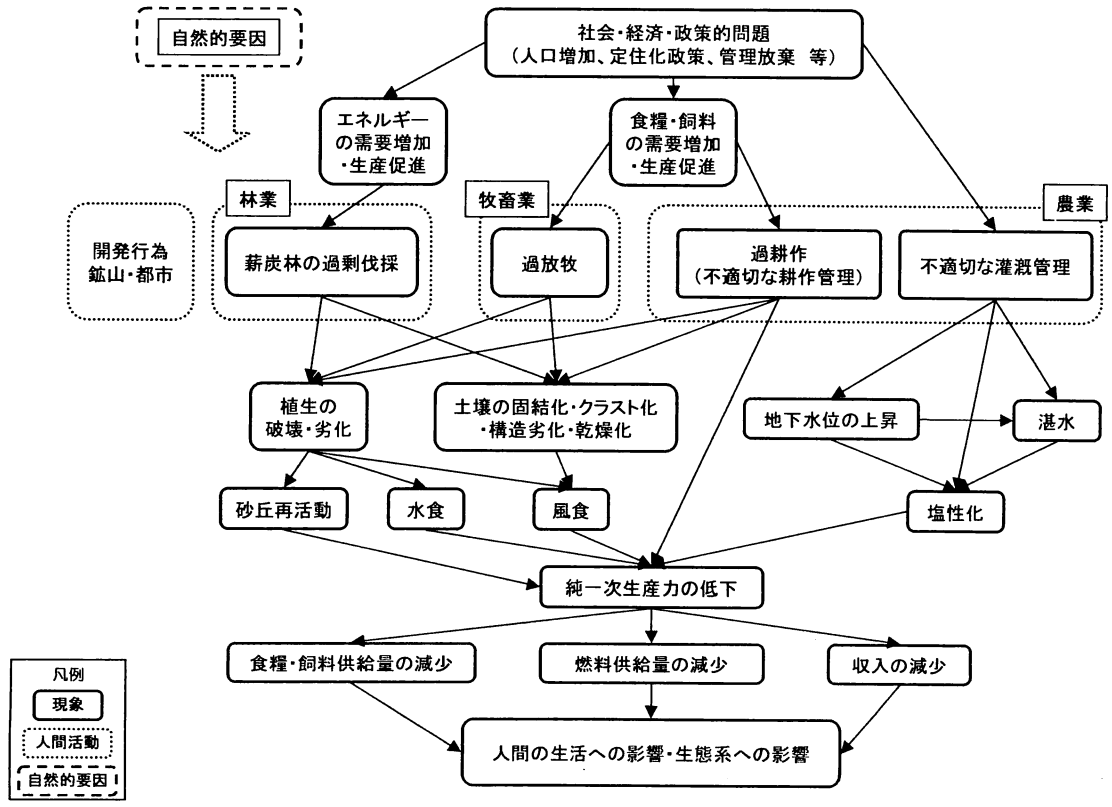


図 3 砂漠化メカニズムの概略 (詳細)

設定した評価軸と指標、指標の統合化の方法を表2に示す。BおよびS1においては、広域スケールにおける砂漠化評価手法の研究における結果を活用して、NPPを指標として用いた。P1およびP2については、多様な要因が存在することを考慮し、各々3つの指標を用いて統合化を行った。また、Rについては、人的側面、経済的側面、技術的側面、制度的側面、機構的側面の5つの指標による定量的な評価を試みたが、それぞれの指標の定量的な情報を全ての国について得ることが困難であったため、5つの指標に関する国別報告書での数値情報の有無、具体的な制度、プロジェクトや他国との協力関係の充実度等を総合的に勘案し、定性的に評価することとした。

表2 設定した評価軸と指標、及び統合化の方法

評価軸		指標		統合化の方法
B	土地資源・水資源 (潜在的生産性)	B 潜在的生産性	潜在 NPP	—
P1	自然による負荷	P1-1 乾燥度	(乾燥・半乾燥・乾性半湿潤地域)/面積	P1-1とP1-2のうち最大の指標値を代表指標として採用
		P1-2 降水	年平均降水量	
		P1-3*風	平均風速	
P2	人間活動の負荷	P2-1 農業	穀物総生産量/耕地面積	3つの指標値を加算した値に応じて、レベルを設定
		P2-2 牧畜業	AUEを乗じた家畜頭数/永久草地面積	
		P2-3 林業	(産業材生産量+薪炭材生産量)/森林面積	
S	生物生産力の状態 (実際の生産性)	S1 生産力の変化	現在の現状 NPP-過去の現状 NPP	2つの指標値を加算した値に応じて、レベルを設定
		S2(可)耕作面積の変化	(現在の(可)耕作地面積-過去の(可)耕作地面積)/面積	
E	人間活動への影響	E1 栄養状態	カロリー摂取量/人/日	2つの指標値を加算した値に応じて、レベルを設定
		E2 経済状態	GDP/人	
R	砂漠化への対応	R1 人的側面	砂漠化対処に関わるスタッフの充実度	国別報告書等の情報から定性的に判断
		R2 経済的側面	砂漠化対処への政府予算	
		R3 技術的側面	識字率等	
		R4 制度的側面	砂漠化対処に関する制度の状況	
		R5 機構的側面	砂漠化対処に協力する他国・機関の充実度	

* 風食に関する指標について検討したが、指標化が困難であり、現時点では指標を設定していない。

オ：評価対象国家選定

評価システムの試行を行う対象国の候補として、まず、過去の研究事例や取り組み等により比較的データ・情報の蓄積が多いと考えられる国を抽出した。さらに、本研究が汎用的な砂漠化評価システムを目指していることから、試行の対象国に気候や経済状況、人口密度等に偏りが出ないように留意し、以下の12カ国を試行の対象国として選定した。

アジア：オーストラリア、中国、インド、カザフスタン、パキスタン、モンゴル、タイ
 アフリカ：ブルキナファソ、チャド、エチオピア、ケニア、モーリタニア

カ：評価尺度の決定

各指標の評価尺度を決定するには、以下に示すような方法が考えられた。

- ・ 指標値の絶対量を考慮した尺度
- ・ 各レベルに該当する国数が同程度の数となるような尺度
- ・ 機械的に等間隔に設定した尺度(例：0-25%, 25-50%, ……)

そこで、各指標について、指標値に対する国家数の頻度分布の整理等を行い、それをもとに、評価尺度を検討し、汎用的な評価手法(国家レベルの評価手法)における各指標のレベルを表3に示すように設定した。

表3 汎用的な評価手法の各指標におけるレベル数値の設定

指標				レベル			
				3	2	1	0
P1-1	乾燥度	(乾燥・半乾燥・乾性半湿润地域)/面積	(%)	75~1000	50~75	25~50	0~25
P1-2	降水	年平均降水量	(mm)	1500~	1000~1500	500~1000	0~500
P2-1	農業	穀物総生産量/耕地面積	(t/1000ha)	2000~	1000~2000	500~1000	0~500
P2-2	牧畜業	AUEを乗じた家畜頭数/永久草地面積	(AUE/1000ha)	3000~	2000~3000	1000~2000	0~1000
P2-3	林業	(産業材生産量+薪炭材生産量)/森林面積	(cum/ha)	10~	4~10	1~4	0~1
S1	生産力の変化	現状NPPの変化	(tC/ha)	~-0.5	-0.5~0	0~0.5	0.5~
S2	(可)耕作地面積の変化	(現在の(可)耕作地面積-過去の(可)耕作地面積)/面積	(%)	~-5	-5~0	0~5	5~
E1	栄養状態	カロリー摂取量/人/日	(人/日)	0~2000	2000~2500	2500~3000	3000~
E2	経済状態	GDP/人	(ppp US\$/capita)	0~1000	1000~5000	5000~10000	10000以上
R	識字率	識字率	(%)	0~25	25~50	50~75	75~1000

なお、ひとつの評価軸内で複数の指標を設定している場合(P1、P2、S、E)の統合化にあたってのレベル数値の設定方法は、表4に示すとおりである。

表4 評価軸内での統合化にあたってのレベル数値の設定

	レベル			
	3	2	1	0
3つの指標値を加算した場合	7~9	4~6	1~3	0
2つの指標値を加算した場合	5~6	3~4	1~2	0

③ ケーススタディ

ア：国家レベルの評価

まず、対象12ヶ国におけるB(潜在NPP)を整理した結果、タイが非常に高く(約30 tC/ha)、中国、エチオピア、インド、ケニアが約3~6 tC/ha程度、その他の国は約1 tC/ha以下であった。

次に、対象12ヶ国のP1-P2-S-E-Rの総合レーダーチャートによる評価結果は、図4に示すとおりである。

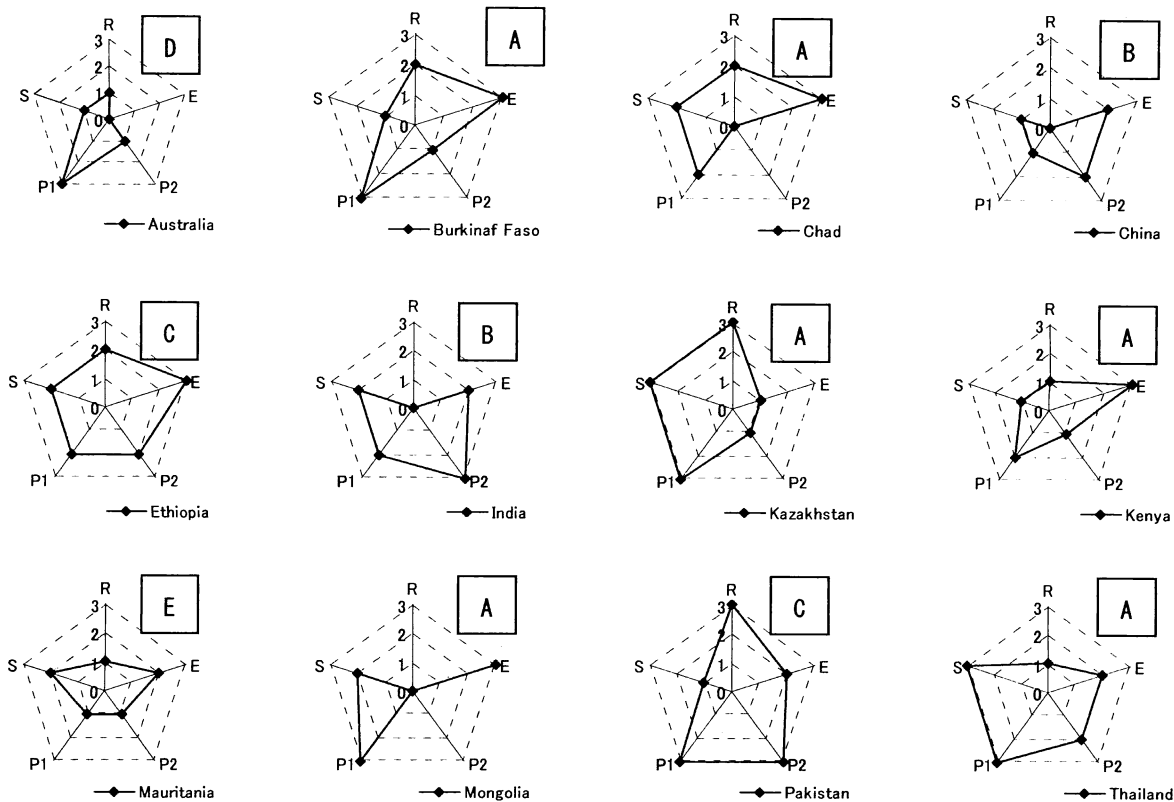


図4 レーダーチャートによる国別評価試行結果

※ 各評価軸のレベル数値が高いほど、砂漠化対処の面から見て望ましくない状態にあることを示す。

※ □の中の記号(A, B, C, D, E)は、同様な5つのグループを示す(下記の本文を参照のこと)。

まず、P1、P2、S、E の関係に着眼した場合、その傾向は、概ね以下の5つのグループに分類することができた。

- (A) P1 が高く、S と E も比較的高い国(モンゴル、タイ、ブルキナファソ、チャド、ケニア、カザフスタン)：自然による負荷が認められ、かつ土地資源の劣化、経済状況等の悪化等の可能性が認められる。
- (B) P2 が高く、S と E も比較的高い国(中国、インド)：人間活動による負荷が認められ、かつ土地資源の劣化、経済状況等の悪化等の可能性が認められる。
- (C) P1、P2 の両者とも比較的高く、かつ S と E も高い国(エチオピア、パキスタン)：自然と人間活動による負荷の双方が認められ、かつ土地資源の劣化と、経済状況等の悪化等の可能性も認められる。
- (D) P1 の高さが顕著であるが、S と E は比較的低い国(オーストラリア)：自然によるかなりの負荷が認められるが、土地資源の状態や人間活動への影響はそれほど強くは認められない。
- (E) P1 と P2 は比較的低いが、E は高い国(モーリタニア)：自然と人間活動による負荷の双方ともそれほど強くは認められないが、人間活動への影響は認められる。

ただし、ここでは、各評価軸をある限られた指標で見ていることから、例えば E が高い、つまり人為活動への影響が大きい場合であっても、P1 や P2 の負荷の高さのみがその直接的な要因で

あるとは特定しがたく、同様に S が高い、つまり土地資源の状態が良くない場合でも、その点のみが E の直接的な要因となるとは限らないことに留意して、レーダーチャートを見る必要がある。

一方、P、S、E と R との関係に着眼した場合、P、S、E が高い、つまり砂漠化の面から見て望ましくない状態にあるからといって、一概に砂漠化防止対策の必要性や内容を規定することはできない。しかし、例えば、P2 が高く、S、E も高い B グループの場合、S、E の要因を P2 の人間活動による負荷だけには限定できないものの、P2 の部分に対する対応(例：農業、牧畜、林業における、より持続可能な施業への改善や産業転換等)の必要性について、初期段階における警告を発することができる可能性はある。

また、例えば、P1 の土地資源の脆弱性のみが高く、R の砂漠化への対応度合が高くない場合などは、その土地の与えられた条件が既に他に比べて厳しく、対応が困難であるとの見方もあり得るが、一方で、土地資源の脆弱性を前提としたより現実的な対応策の検討を促すことができる可能性もある。

なお、S1 の指標として現状 NPP の変化を用いているが、実際にあらゆる国家、準国家単位で同じように評価を試みる場合、NPP データでなく、より容易に入手できる一般的な統計データを利用することが望ましい場合もありうる。そのため、S1 の指標として用いた現状 NPP の変化と、農業統計データから得られる単位耕地面積あたりの穀物の生産性変化との比較を行ったが、それらの間に相関は確認されなかった。これは、国家レベルで見た場合の NPP のデータには農業的土地利用以外の様々な土地利用が含まれ、統計データを用いて見る農業のみの生産力の変化とは異なる可能性があるためと考えられる。

イ：準国家レベルの評価

ケーススタディ対象国のうち、他のチームの研究対象地となっている中国およびパキスタンについて、図 1 に示した評価単位の決定フローをもとに、より詳細な準国家レベルにおける評価の対象となる行政単位を抽出し、評価手法の検討と実際のデータを用いた評価システムの試行を行った。なお、データ・情報の入手にあたっての制約から、両国とも準国家レベル(省・自治区、州)での評価までを実施した。各国において、評価の対象となった行政単位は、以下に示すとおりである。

中国：河北省、山西省、内蒙古自治区、遼寧省、吉林省、黒龍江省、山東省、河南省、西藏自治区、陝西省、甘肅省、青海省、寧夏回族自治区、新疆ウイグル自治区 パキスタン：Punjab、Sindh、N.W.F.P、Balochistan
--

準国家レベルでの評価においても、基本的に汎用的な評価システムの枠組(表 2 参照)を用いることとした。しかし、各指標におけるレベル数値については、各国の状況を考慮し、汎用的な評価システムにおける設定(表 3 参照)を基に、各国でオプション化を行った。中国およびパキスタンにおいて、汎用的な評価システムからレベル数値の設定を変更した指標は、表 5 および表 6 に示すとおりである。また、R については、国家レベルの場合は定性的な要素を含めて評価していたが、準国家レベルについては、そのような情報が得られにくいいため、情報が得られた場合のみ、定性的な要素も含めた。

表5 各指標におけるレベル数値の設定（変更箇所のみ）（中国）

指標				レベル			
				3	2	1	0
P2-1	農業	穀物総生産量/耕地面積	(t/1000ha)	4000~	3000~4000	2000~3000	~2000
S1	生産力の変化	現状NPPの変化	(tC/ha)	~-0.15	-0.15~0	0~0.15	0.15~
S2	(可)耕作地面積の変化	(現在の(可)耕作地面積-過去の(可)耕作地面積)/面積	(%)	~2.5	2.5~5	5~7.5	7.5~
E2	経済状態	GDP/人	(ppp US\$/capita)	0~500	500~750	750~1000	1000以上

表6 各指標におけるレベル数値の設定（変更箇所のみ）（パキスタン）

指標				レベル			
				3	2	1	0
S1	生産力の変化	現状NPPの変化	(tC/ha)	~-0.2	-0.2~0	0~0.2	0.2~
S2	(可)耕作地面積の変化	(現在の(可)耕作地面積-過去の(可)耕作地面積)/面積	(%)	~0	0~1	1~2	2~
E2	経済状態	GDP/人	(ppp US\$/capita)	0~1500	1500~2000	2000~2500	3000以上
R	識字率	識字率	(%)	0~30	30~40	40~50	50~60

評価対象とした準国家レベルにおける B(潜在 NPP)は、中国では、北部東側に位置する吉林省、黒龍江省、河南省等は比較的高かったが、その他の省・自治区は概ね 1 tC/ha 以下であった。パキスタンでは、パンジャブや N.W.F.P では比較的 B が高い結果が得られた。評価対象準国家における総合レーダーチャートによる評価結果は、図5および図6に示すとおりである。

中国においては、概ね以下の4つのグループに分類することができた。

北部中央の山西省、内蒙古自治区、陝西省、寧夏回族自治区は、P1、P2、S、E が比較的高く、人間活動や自然による負荷があり、土地資源が劣化し、その影響も生じている可能性が示唆された。一方、これらの地域では R が低く、砂漠化対策の実施可能性が高いことが示唆された。

北部西側に位置する甘肅省、青海省、新疆ウイグル自治区は、P は比較的低いが、S が高く、何らかの要因による土地資源の劣化が生じている可能性が示唆された。ただし、これら3つの地域では、R も比較的高く、砂漠化対策の実施可能性が高いことが示唆された。

北部東側に位置する吉林省、黒龍江省、山東省、河南省は、S を含め評価軸のレベルが全体的に小さく、土地資源の劣化がそれほど深刻ではないことが示唆された。

河北省、遼寧省、西藏自治区は、全体的にどの評価軸のレベルも比較的高く、土地資源の劣化の可能性について注意を要する地域と考えられた。

パキスタンにおいては、パンジャブでは、P1 や P2 が高いものの S や E、R は比較的低く、負荷が大きいが、土地資源の状況はひどく悪化してはおらず、対策の実施可能性も高いことが示唆された。その他の地域では、評価軸のレベルが全体的に高く、負荷が大きく、土地資源の状況も悪化している可能性が考えられた。

S1 として用いた現状 NPP の変化と、農業統計データから得られる単位耕地面積あたりの穀物の生産性変化との比較を行った(図7および図8)。国家レベルと比較して、準国家レベルにおいては、両者の相関が高いことが示唆された。とくに、パキスタンにおいては高く、パキスタンの準国家レベルの面積が、国家レベルや中国の準国家レベルに比べて小さく、土地利用状況などが比較的一様であること等が影響しているものと考えられた。

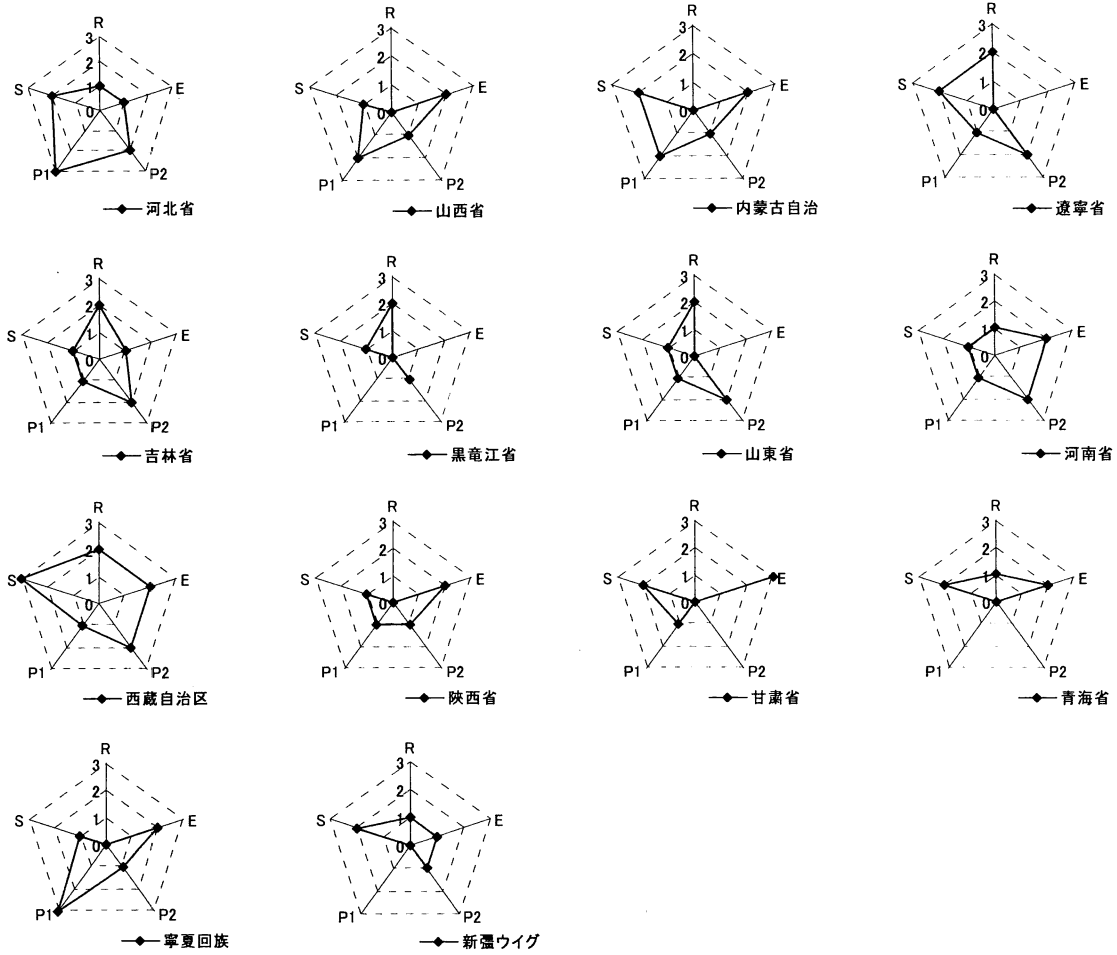


図5 レーダーチャートによる行政単位別評価試行結果 (中国)

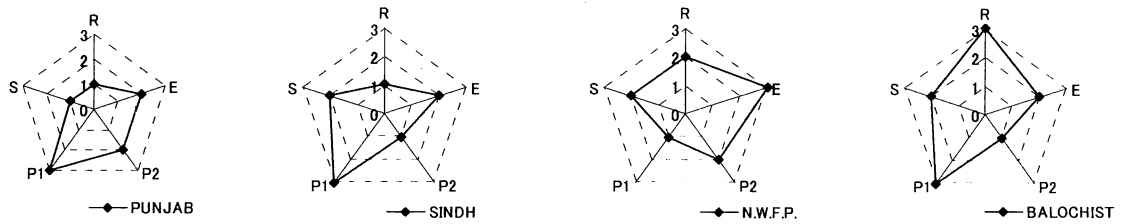


図6 レーダーチャートによる行政単位別評価試行結果 (パキスタン)

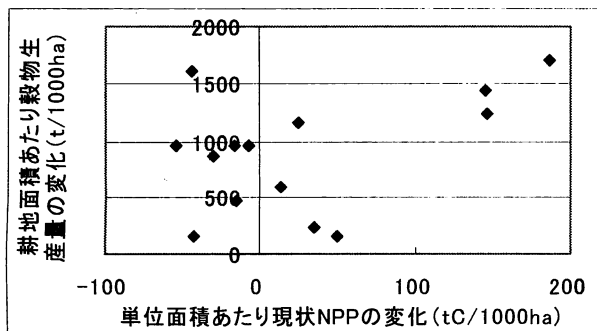


図7 現状NPPと穀物生産性の比較(中国)

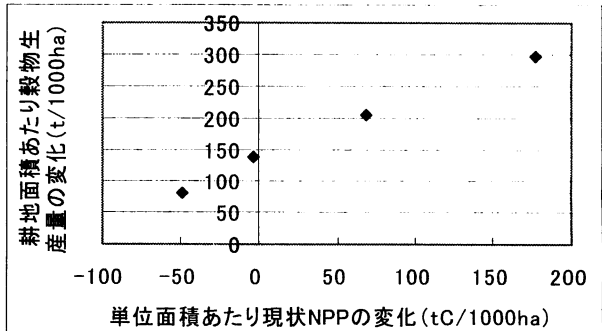


図8 現状NPPと穀物生産性の比較(パキスタン)

ウ：評価手法に関する総合考察

本研究において構築した行政単位レベルにおける砂漠化評価システムは、ある程度誰もが入手可能な一般的データを用いて、各行政単位ごとに P-S-E-R のおよその関係・バランスを見ることを可能とする総合的な評価システムである。特に、中国における準国家レベルの評価結果にみられるように、本評価システムにより、準国家間における相対的な比較を行うことで、ある国においてどの地域に優先的にリソースを注ぐべきかを見る際の道具として本評価システムを活用できる可能性があると考えられる。また、ある国が、まず砂漠化の要因を明らかにすることが課題なのか、あるいは既に要因と結果の関係はほぼ明らかのため、要因に対する適切な対策の実施が課題なのか、といったそれぞれの行政単位の抱える課題を見極めるのに有用なシステムであり、国家行動計画の策定やその優先実施のために、利用可能であることが示された。

しかし、その一方で、本評価システムには、以下に示すような課題があると考えられた。これらの課題を踏まえ、さらなる検討を行うことにより、より適切な評価システムを構築することが可能であると考えられる。

- ・ 評価対象とする行政単位：評価対象とする行政単位の決定フローを構築したが、統計等のデータを評価指標の作成に用いる際には、収集できるデータに制約がある場合がある。特に、準国家レベル以下の行政単位レベルのデータ収集は、指標作成・評価を行う主体が自国以外の国を対象とする場合、労力を要する。そのため、例えば、内蒙古自治区等のように、準国家単位であってもその面積が大きく、自然条件が多様な行政単位では、より詳細な行政単位における評価を可能とするデータの収集方法について検討する必要があると考えられる。
- ・ 各指標の尺度(レベル)の決定方法：各レベルに含まれる行政単位数がほぼ均等となるような設定方法、世界各国の平均的な値から判断する設定方法等が考えられ、どの方法が最も実態をうまく反映し得るか、さらなる検討が必要である。評価の尺度は、本評価システムを利用する行政単位を全世界のあらゆる行政単位として考えるか、あるいはある程度砂漠化が問題となっている行政単位として考えるかによっても異なってくるものと考えられる。
- ・ P2 の人間活動による負荷の捉え方の発展的検討：人間活動による負荷(耕作、牧畜等の活動による土地への負荷)が、域内需要のために生じている負荷なのか、あるいは域外需要のために生じている負荷なのか、といった視点からの考察も必要であり、そのような考察が可能となる評価手法、表現方法について検討が必要である。
- ・ 各評価軸をより適切に評価し得る指標に関する精査：例えば、農業による負荷(P2-1)の指標として、単位面積あたりの生産量を採用したが、アジアの国々では、単位面積あたりの生産量の増加が効果的な土地利用の結果とも捉えられ、必ずしも負荷の大きさを示しているとは言えない面もある。そのため、アジアに限定した評価を実施する際には、評価の尺度のオプション化だけでなく、指標自体のオプション化も検討する必要があると考えられる。また、林業による負荷(P2-3)の指標として、森林面積あたりの産業材と薪炭材の生産量を採用したが、砂漠化対処条約の対象地域では、産業材の生産よりも薪炭材の採取による影響が大きいと考えられる。その一方で、薪炭材に関する統計的な情報は多くはないため、統計情報を用いない方法(例えば、各家庭での薪炭材消費量等から薪炭材使用量を算定する等)による指標値の算定を検討することが望ましいと考えられる。

4. 広域レベルにおける砂漠化モニタリング手法の開発

(1) 潜在-現状比較法による分析

① 広域 NPP 推定モデルの改良

広域 NPP 推定モデルである CASA (Carnegie-Ames-Stanford-approach)モデル¹⁶⁾をもとに、下記の NPP (Net Primary Productivity: 純一次生産力)推定モデルの改良と検証を行った。

$$NPP = PAR \times fAPAR \times W_s \times Ts_1 \times Ts_2 \times \epsilon^*$$

ここで fAPAR は光合成有効放射吸収率、PAR は光合成有効放射量、 W_s 、 Ts_1 、 Ts_2 は各々水ストレス、気温ストレス1、気温ストレス2であり、 ϵ^* は放射変換効率をあらわす定数(0.389 gC MJ⁻¹ PAR)。

サブテーマ4 (中国内蒙古自治区)およびサブテーマ5 (カザフスタン北部)の調査地域において観測された、NPP、PAR、fAPAR、土壤水分データと、現地気象局等で収集された気象データをもとに、広域 NPP モデルの各サブモデルの検証・改良を行った。

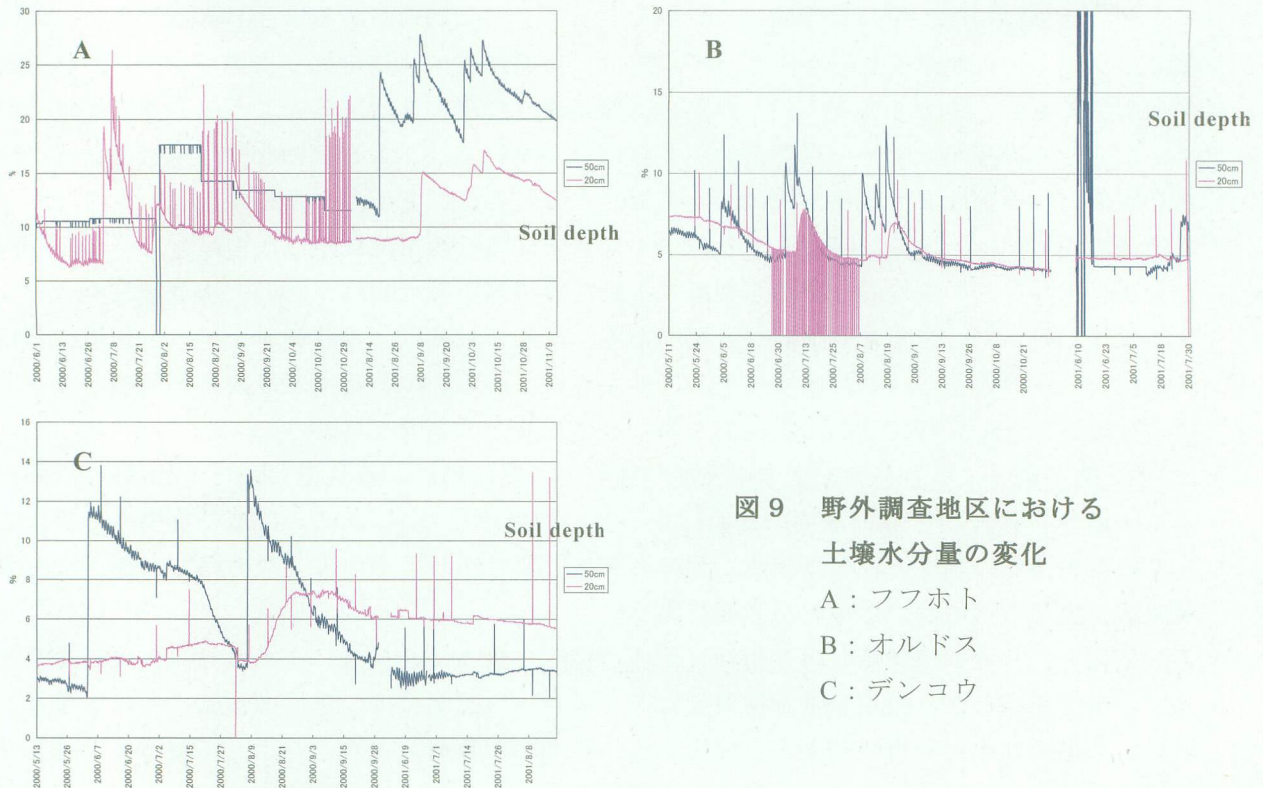


図9 野外調査地区における
土壤水分量の変化
A: フフホト
B: オルドス
C: デンコウ

中国内蒙古自治区の Dengkou (灌漑農地、放牧地)、Ordos (放牧地)、Hohhot (天水農地、放牧地) の3地点における年平均降水量はそれぞれ、149 mm、357 mm、360 mm である。NPP は約一ヶ月おきに刈り取りを行う方法により観測し、fAPAR、NDVI はフランス Solems 社製の PARIR センサを用いて NPP 観測と同時に計測した。観測は、植生の上部および下部で入射光および反射光を計測する形式で行った。なお植生がかなり不均一な場所での観測のため、PARIR センサを5つ連結した観測装置を独自に設計し、それを用いて観測した。また、土壤水分は TDR 方式(IMKO 社、

TRIME-EZ)を用いて、5月から10月まで一時間おきに測定した。また、各地点近傍の気象台において、降水量、気温、日射量、可能蒸発散量などの気象データを収集した。土壌水分計によって観測された土壌水分量の季節変化を図9に示す。

2000年におこなったこれらの野外観測の結果と気象データを用いて、CASAモデルの改良をおこなった。CASAモデル中の水分ストレスサブモデルの中の潜在的蒸発散量推定(EET)に使われる土壌水分推定モデルを、月単位の計算から日単位の計算に変更し、蒸発効率が土壌水分の体積含水率の間を変化するようになっているものを、吸着係数から圃場容水量の間で変化するように改良することにより、実測の土壌水分量の変動に近づけることができた(図10)。気温ストレスはNDVIが最大になる月の気温を最適気温としている。しかし、地上観測地がある中国内蒙古自治区周辺では2000年の夏は早魃であり、NDVIは10月が最大であり、そのまま最適気温とすると、実測のNPPの季節変化とは大きくずれることが明らかになったため、最適気温はNDVIが最大になる平年の月に固定した。これらの改良により、NPP推定モデルを現実の値に近づけることが可能となった。

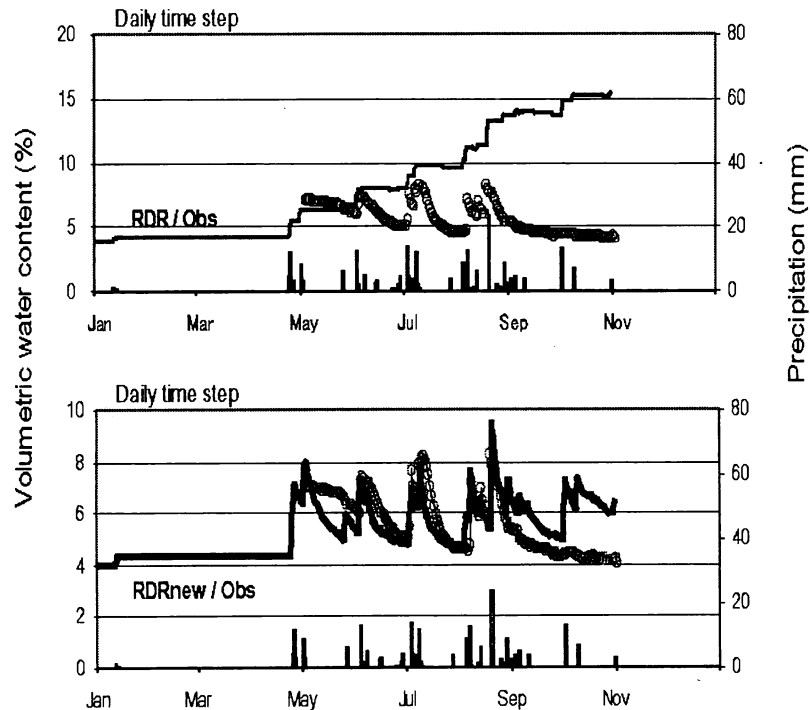


図10 中国・内蒙古における土壌水分量の変化
○印が実測値、上図がCASAモデル中の土壌水分サブモデル、
下図が本研究により改良された土壌水分サブモデル。

2000年と2001年における各地上観測地の実測NPPを図11に、改良CASAモデルによる各地上観測地に対応した地域の推定NPP値を図12に示した。地上観測地の実測NPPでは、デンコウでの自然草地と灌漑農地のNPPが大きく異なったので、それぞれの値を示した。シヨルタンディは2001年から観測を開始したため、2001年のデータのみが示されている。2年ともデンコウの

灌漑農地がすべての地域の中で最も大きく、特に 2001 年には NPP 最大月の値はデンコウ灌漑農地について NPP が大きかったショルタンディの 6 月の $261 \text{ g/m}^2/\text{month}$ の約 3.8 倍の $997 \text{ g/m}^2/\text{month}$ と大きな差があった。オールドス、デンコウ自然草地はともに 2000 年、2001 年とも最大月でも $100 \text{ g/m}^2/\text{month}$ 以下の低い値であった。しかし、フフホトではこの 2 年間で大きな違いがあり、2000 年には 7 月に $257 \text{ g/m}^2/\text{month}$ を観測したが、2001 年には最大に達した月は同じく 7 月であったが、NPP は $78 \text{ g/m}^2/\text{month}$ と小さかった。

このフフホトでのみ大きく観測された NPP の年変動は、改良 CASA モデルによる推定値でも同様に検出された。これに対し、フフホト以外の 3 地域では 2000 年と 2001 年では推定 NPP に大きな違いは認められなかった。また、地域間の NPP 値の違いもほぼ実測地と対応していた。これらの結果から、改良 CASA モデルは現状 NPP の推定に適しているといえる。

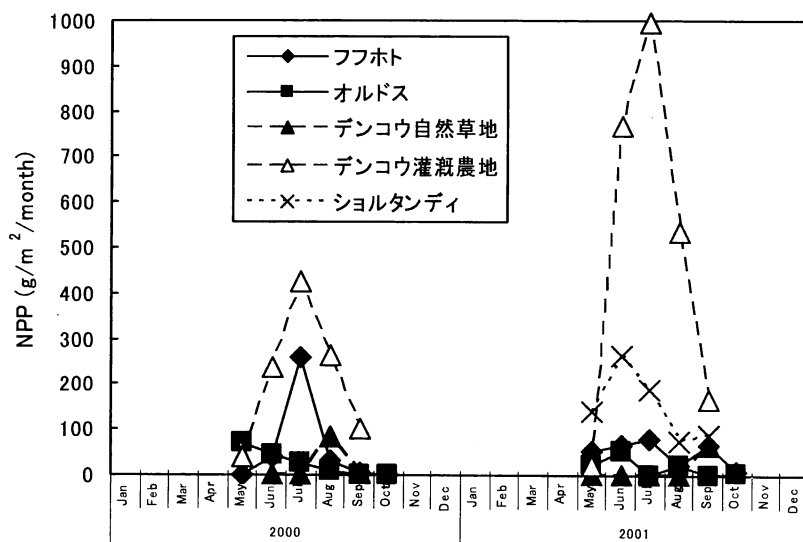


図 11 NPP 実測値の季節変化

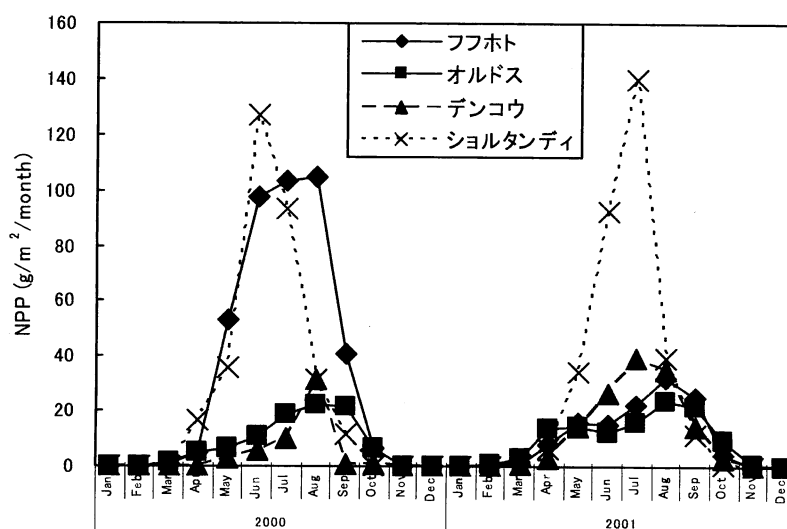


図 12 CASA モデルによる NPP 推定値の季節変化

地域ごとに実測 NPP と推定 NPP を比較したものが図 13 である。フフホト、オールドス、デンコウ自然草地では月によって推定値が実測値を上回る場合と下回る場合があった。一方、デンコウ灌漑農地とショルタンディでは常に実測値のほうが大きい値をとっていた。衛星画像や広域の気象データセットによる推定値は解像度が粗く、1つのグリッドセル内には様々な植生が含まれる。一方、現地観測による実測 NPP は非常に限られた範囲の限られた植生タイプから得られる値であるため、実測地と推定値を近づけることには限界がある。しかし、今回の 2000 年のデータを用いて、CASA モデル中の土壌水分サブモデルの改良と、NDVI 最大月の固定により、推定値を実測値に近づけることができてきている。現在、2003 年までの現地観測結果があり、それらを用いて、fAPAR 推定サブモデルや ϵ * の改良をおこなうことにより、より精度の高い NPP 推定モデルを構築することができるであろう。また、灌漑農地の問題に関しては、より解像度の高い衛星データを用いることが有効であると思われる。

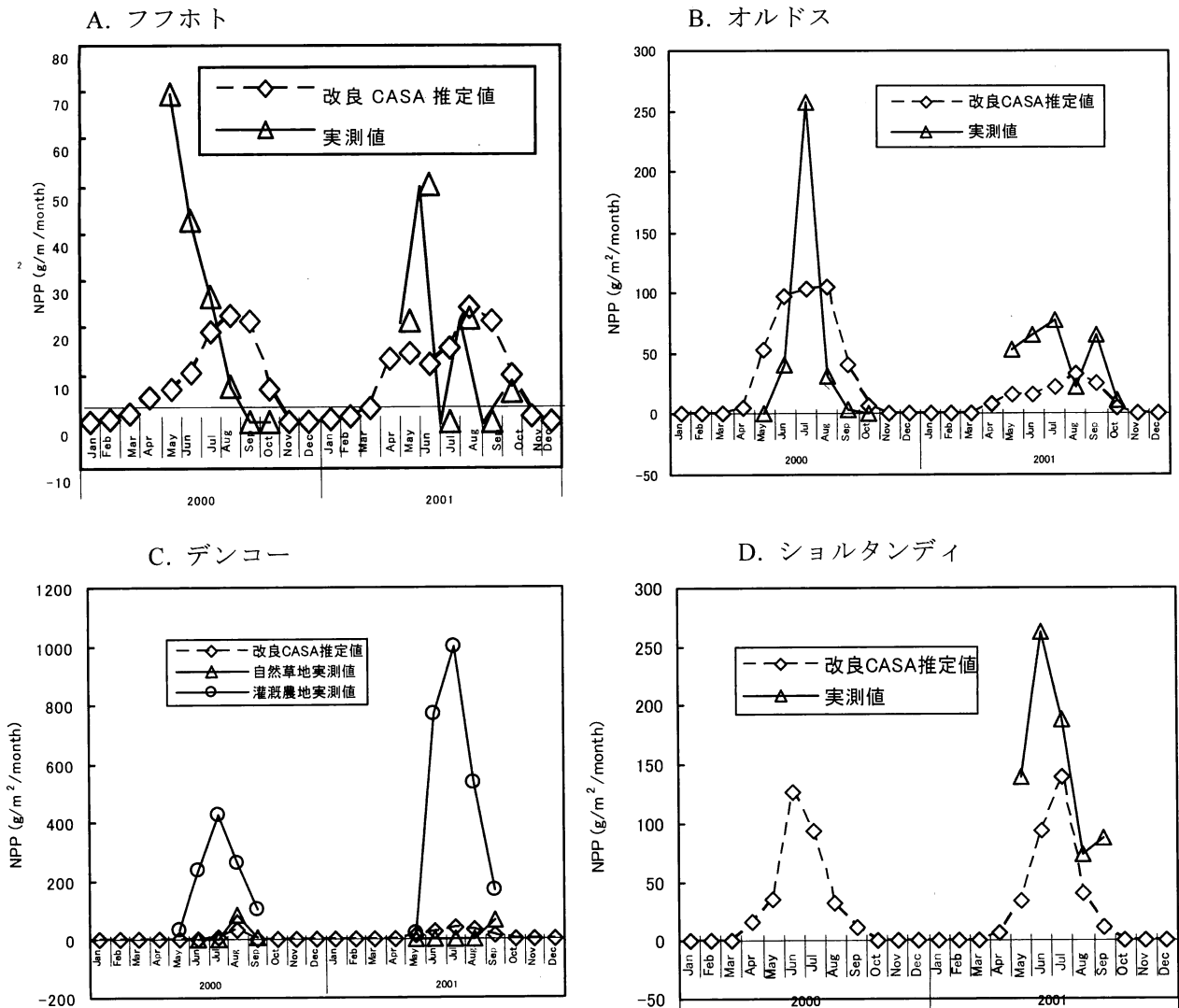


図 13 NPP 実測値と CASA モデルによる推定値の比較

② アジア植生荒廃地図の作成・改良

使用したデータセットを以下に示す。2000年1月から12月の降水量: GPCC (Global Precipitation Climatology Center)、気温: NCEP (National Centers for Environmental Prediction) / NCAR(National Center for Atmospheric Research), Global Reanalysis Products、PAR: NCEP/NCAR, Global Reanalysis Products、NDVI: NOAA 衛星/AVHRR センサ、USGS (US Geological Survey) 1km AVHRR Global Land Dataset、植生型: NOAA GVI (Global Vegetation Index)、可能蒸発散量: ソーンズウェイト、土性: FAO 土壌図である。

NPP にもとづく植生荒廃地域の検出、地図化は以下の手順でおこなった。まず、上記データセットを用いて、改良 CASA モデルにより広域の NPP 推定地図を作製した。また、気候条件から NPP を推定する筑後モデルを用いて潜在 NPP 地図を作製した。例として、2000年のアジアの乾性地の潜在 NPP 地図(筑後モデル)と現状 NPP 地図(改良 CASA モデル)を図 14 に示す。空間解像度は 0.2 度である。評価範囲は乾性地に限定した。乾性地の抽出に用いたデータセットは、1961年から1990年の Climate Research Unit (CRU)の気温と降水量データである。乾性地は UNEP の定義に従い乾燥指数(降水量/可能蒸発散量)が 0.05~0.65 の範囲とした。

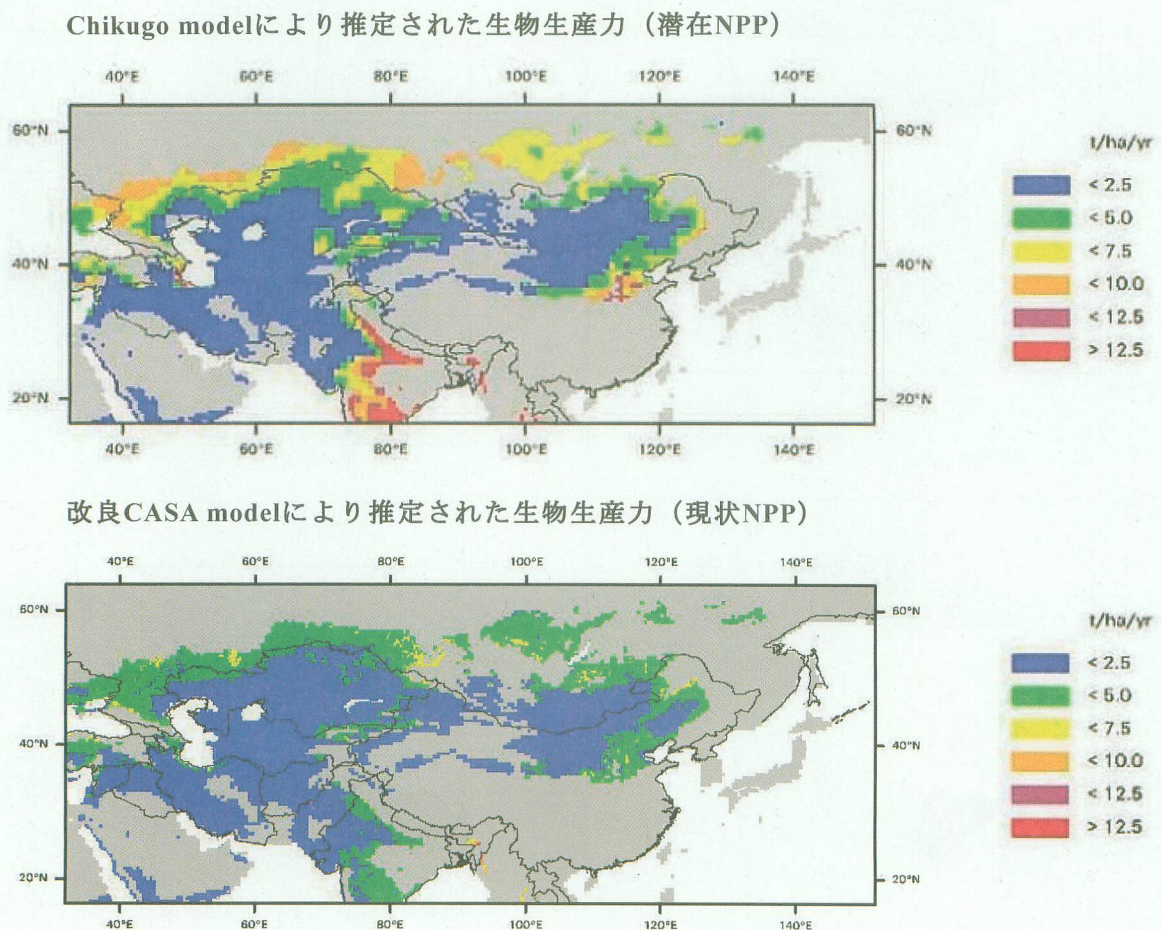
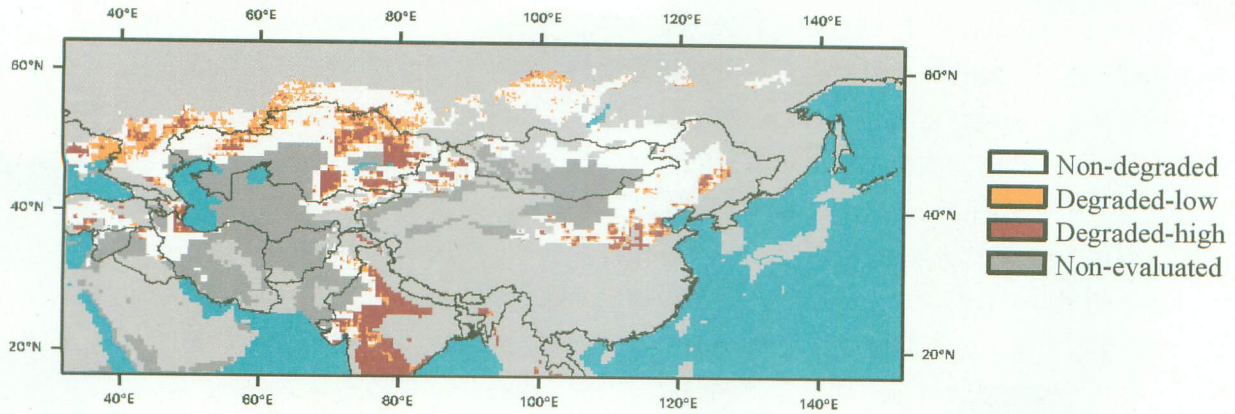
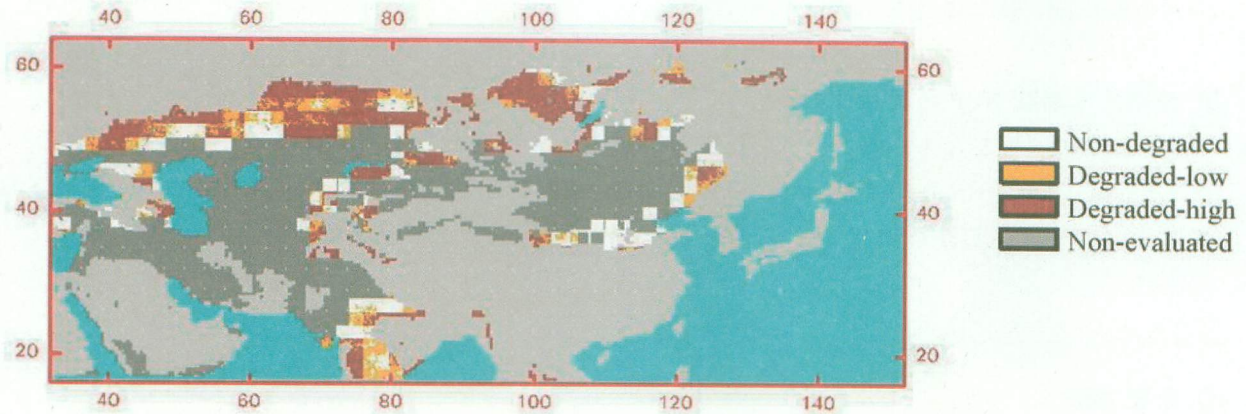


図 14 アジアの乾性地における潜在 NPP(上)と現状 NPP(下) - 2000年 -

乾性地において潜在 NPP よりも現状 NPP が小さい地域 (2000 年)



乾性地において潜在 NPP よりも現状 NPP が小さい地域 (2001 年)



GLASOD の土壤荒廃地図

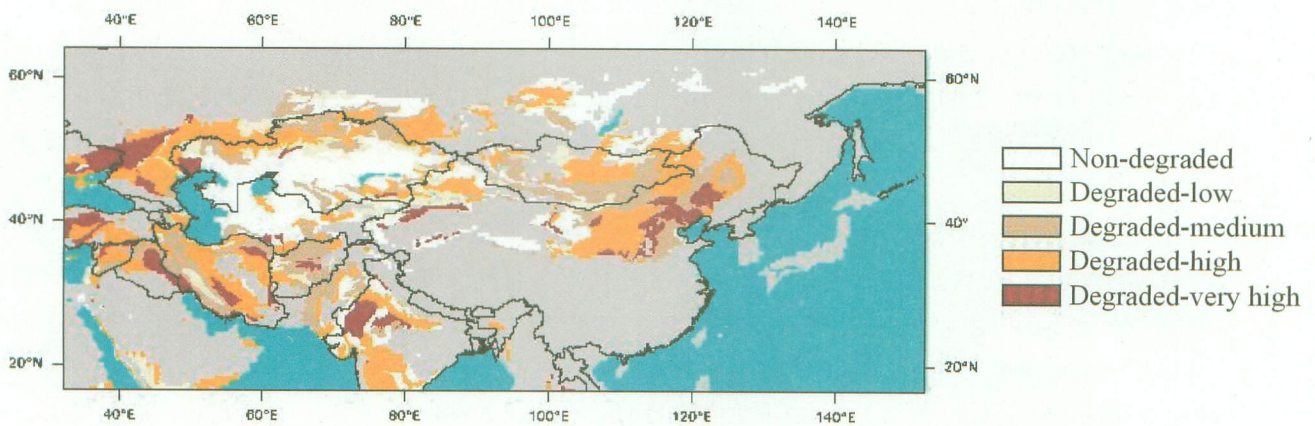


図 15 潜在-現状比較法による植生荒廃地図(上: 2000 年、中: 2001 年)および GLASOD の土壤荒廃地図(下) 潜在-現状比較法による植生荒廃地図(上)では、潜在 NPP が 0.1 t/ha/yr を下回る地域を評価対象から外し、荒廃の程度を 4 段階で評価した。

次に、現状 NPP と潜在 NPP の比をとり、潜在－現状 NPP 比較法によって求めた、乾性地における植生荒廃地図を図 15 に示す。上が 2000 年、中が 2001 年の結果である。潜在 NPP が極めて低い地域 (0.1 t/ha/year 以下の地域) は誤差の可能性を考慮して評価対象から外した。2000 年と 2001 年を比較すると、2001 年では乾性地内で評価対象から除外した潜在 NPP が 0.1 t/ha/year よりも小さい地域が広い面積を占めていることがわかる。それにともない非荒廃と評価された地域の割合が小さくなっている。気象条件の年変動は植生活動に大きな影響をおよぼすため、継続して集められた複数年のデータを総合して植生荒廃を評価することが重要である。

GLASOD¹⁷⁾ による土壤荒廃図 (図 15 下) と比較すると、中国から中央アジアにかけての荒廃地では比較的良好に合致していたが、いくつかの地域で違いが認められた。中国北東部の内蒙古自治区、河北省、山西省等の農地や放牧地の優占する地域において、本研究による評価は GLASOD と比べて荒廃を少な目に評価している。Young ら¹⁸⁾ は、1982～92 年の衛星データを用いて、中国全土の NDVI のトレンドを分析した結果、NDVI の減少は主に南部の森林地域でみられ、上記の北東部を含む農業地域では NDVI は増加の傾向がみられることを報告している。またこの間の農業統計も多くは指標で増加の傾向を示す。以上のことから、本研究で開発された生物生産力に基づく評価手法は概ね妥当なものと判断される。

③ 長期的な潜在 NPP と現状 NPP

これまでに解析した方法を用いて、長期 NDVI データセットである PAL データセットに適用し、1982 年から 2001 年にかけての現状 NPP と潜在 NPP の変化の様子を同様に解析した。結果を図 16 に示す。中国における現状 NPP のトレンドは Young ら¹⁸⁾ と同様な傾向が認められた。

(2) トレンド法による分析

① 研究方法

ア：入力データ

用いた入力データは衛星データより求めた植生データ、気候データおよび植生分類図の 3 種類である。

- ・植生データ：Boston 大より、Pathfinder AVHRR Land (以下 PAL) NDVI データに補正を加えた PAL-Ver.3 NDVI データを基に、放射輸送モデルにより求めた時間解像度 1 ヶ月、空間解像度 16 km の全球 FPAR、LAI データセットを用いた。植生データは 1982 年から 2000 年までのものがあるが、2000 年のデータは補正が不十分と考えられるため、1982 年 1 月から 1999 年 12 月までのデータを用いた。
- ・気候データ：日平均気温、相対湿度、純放射、日最低気温の 4 種類のデータを用いるが、これらには NOAA-CIRES/CDC より、時間解像度 1 日、空間解像度約 2 度の全球 NCEP/NCAR 再解析データセットを用いた。植生データと同じく 1982 年 1 月から 1999 年 12 月までのデータを使用した。相対湿度は飽差の算出に使用した。
- ・植生分類図：Maryland 大より 1992 年の UMD 1km Global Land Cover データを用い、植生型ごとに BIOME-BGC モデルより求めた 17 個の設定パラメータを与えた。この設定パラメータは 18 年間で一定とした。

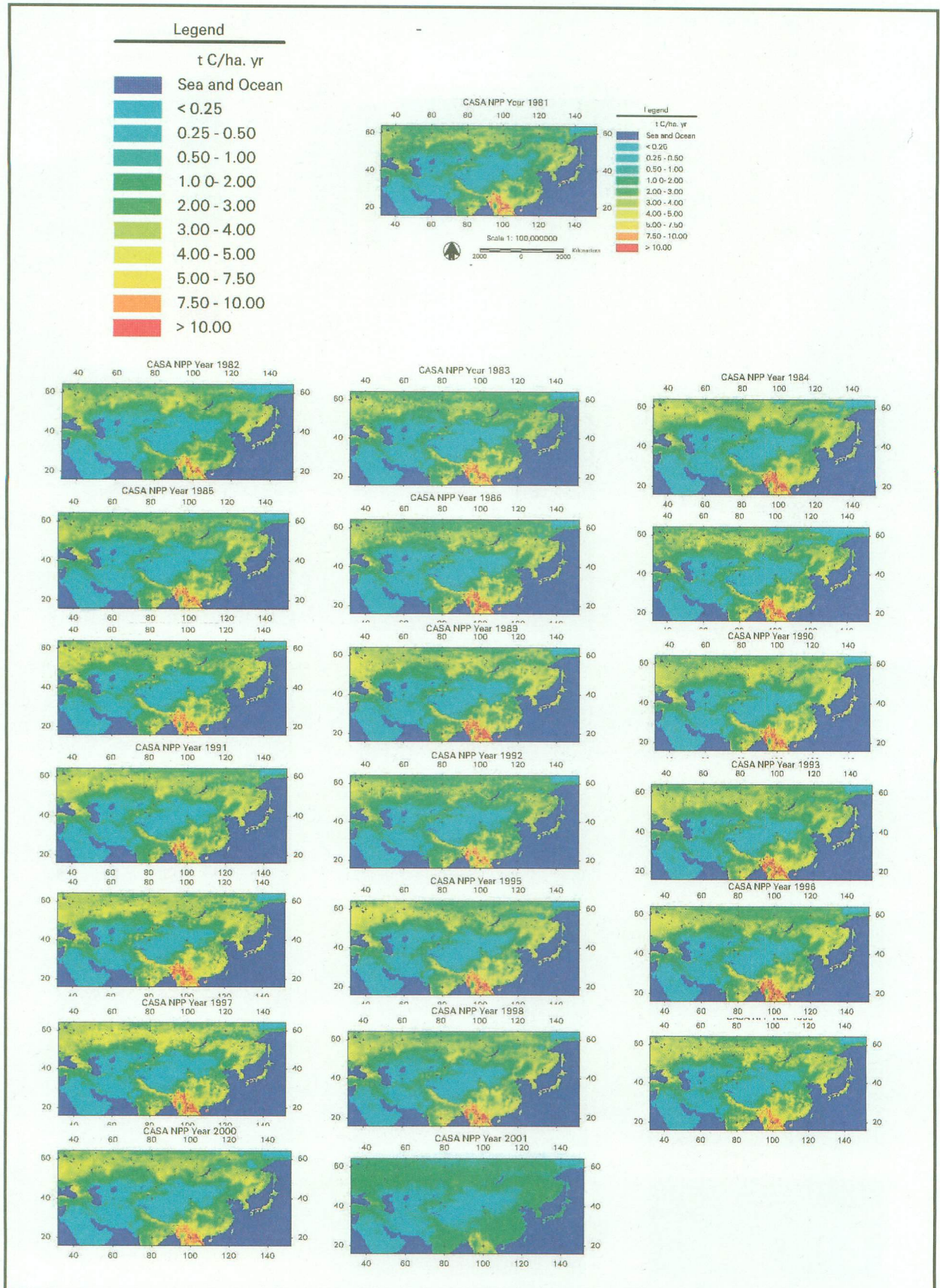
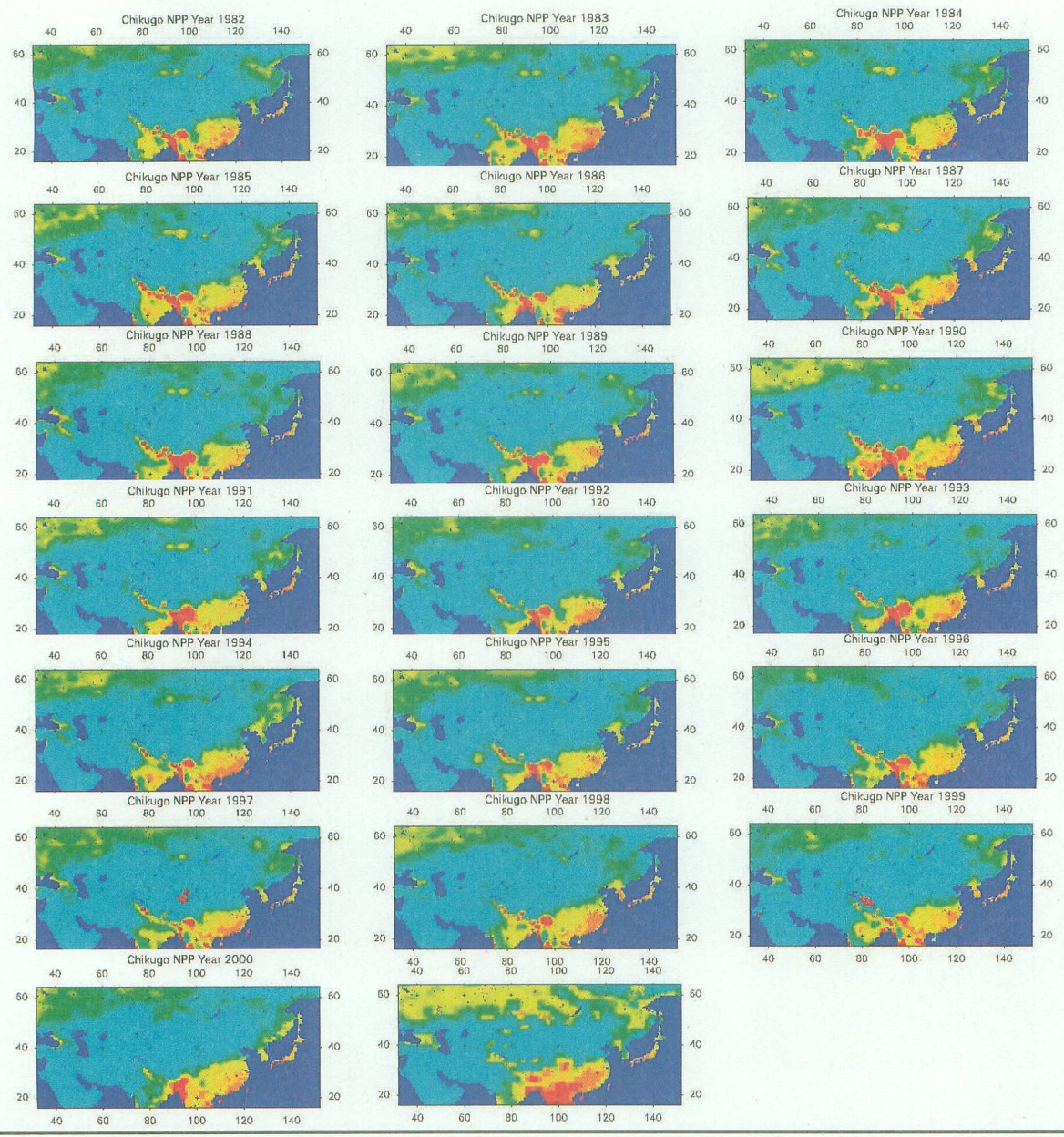
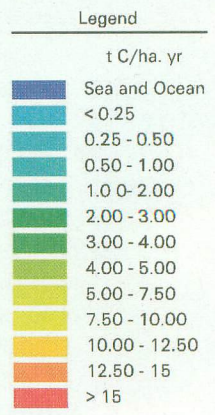
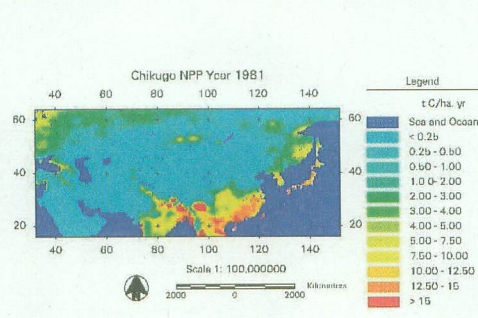


図 16-1 現状 NPP (CASA モデル) の長期推定 (1981~2001 年)



イ：純一次生産力の推定

「(1) 潜在－現状比較法」で用いた CASA モデルは、とくに NPP が比較的高い地域において、NPP をやや低めに推定する傾向がみられた。そこで本分析においては、TERRA/MODIS の NPP 標準プロダクトで採用されている NPP 推定アルゴリズム(Running et al.¹⁹⁾)を用いて NPP の推定を行った。このモデルでは日単位と年単位の 2 つのプロセスを経て NPP を推定する。

(7) 日単位のプロセス (図 17)

PAR を純放射量の 45% とし、FPAR と純放射量より日単位の光合成有効放射吸収量(以下 APAR)を求めた。

$$\text{APAR}_{\text{day}} = \text{FPAR} \times R_{\text{net}} \times 0.45$$

ここで、 APAR_{day} は日 APAR、 R_{net} は日純放射量を表す。

続いて日最低気温と飽差に関して、設定パラメータによる上下の閾値を持った線形のストレス成分を求め、RUE 最大値と乗じることで低温・水分ストレスを考慮した RUE を求めた。

$$\text{RUE}_{\text{net}} = \text{RUE}_{\text{max}} \times \text{Str}(T_{\text{min}}) \times \text{Str}(\text{VPD})$$

ここで、 RUE_{net} はストレスを加えた RUE、 RUE_{max} は RUE 最大値、 $\text{Str}(T_{\text{min}})$ は低温ストレス、 $\text{Str}(\text{VPD})$ は水分ストレスを表す。

さらに、日 APAR とストレスを加えた RUE をかけ、日単位の総一次生産力(以下 GPP_{day})を推定した。

$$\text{GPP}_{\text{day}} = \text{APAR}_{\text{day}} \times \text{RUE}_{\text{net}}$$

次に LAI と設定パラメータより葉・細根バイオマスを求め、バイオマスより葉・細根の 20°C における維持呼吸量(以下 $\text{MR}_{20^\circ\text{C}(l, r)}$)を求めた。 $\text{MR}_{20^\circ\text{C}(l, r)}$ に、日平均気温により指数関数的に増加する成分(維持呼吸指数)を乗じることで、日単位の葉・細根の維持呼吸量を推定した。

$$\text{MR}_{\text{day}(l, r)} = \text{MR}_{20^\circ\text{C}(l, r)} \times Q_{10}^{(\text{Tavg} - 20)/10}$$

ここで $\text{MR}_{\text{day}(l, r)}$ は葉・細根の日維持呼吸量、 $Q_{10}^{(\text{Tavg} - 20)/10}$ は維持呼吸指数を表し、 Q_{10} は植生型によって決まる値である。また $\text{MR}_{\text{day}(l, r)}$ は日単位の維持呼吸量だけでなく、GPP 算出時には考慮されていない高温のストレス成分としても働く。

最終的に日 GPP から葉・細根の日維持呼吸量を差し引いて日単位の NPP を推定した。

$$\text{NPP}_{\text{day}} = \text{GPP}_{\text{day}} \times \text{MR}_{\text{day}(l, r)}$$

ここで NPP_{day} は日 NPP を表す。ただし NPP には幹の維持呼吸量および成長呼吸量は考慮されていない。この 2 点に関しては年単位のプロセスで推定した。

日単位のプロセスからの出力として、年間の葉バイオマス最大値、維持呼吸指数の年積算値、日 NPP の年積算値を渡した。

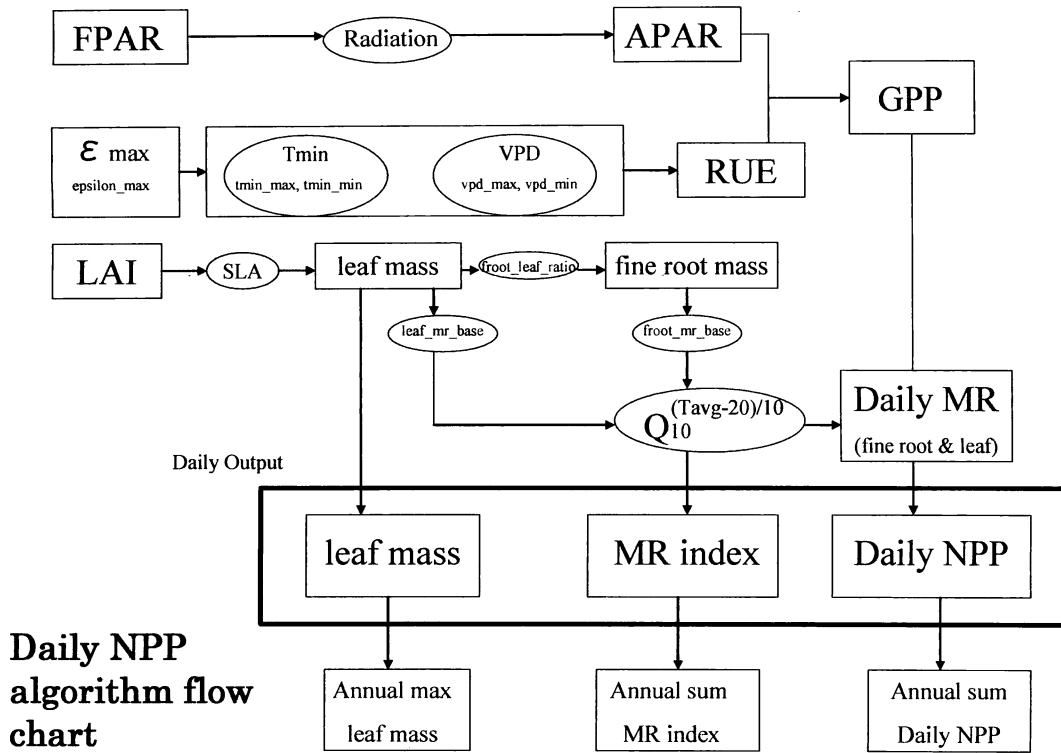
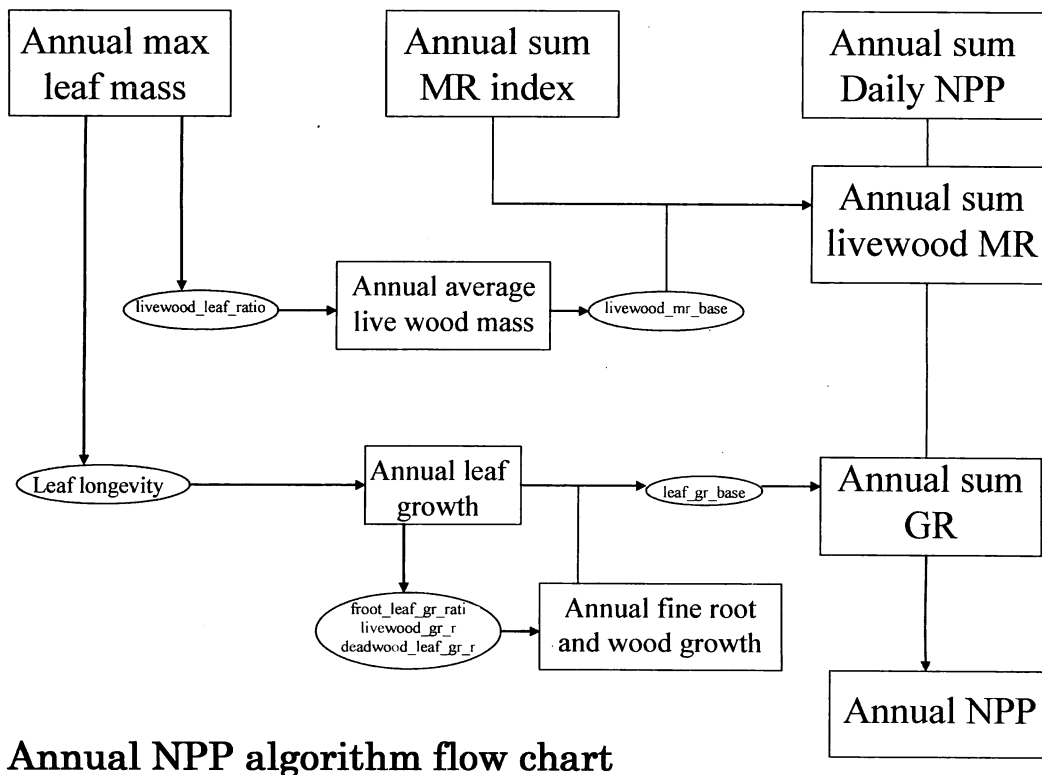


図 17 日 NPP 推定アルゴリズム



Annual NPP algorithm flow chart

図 18 年 NPP 推定アルゴリズム

(イ) 年単位のプロセス (図 18)

年間の葉バイオマス最大値と設定パラメータより幹のバイオマス量を求め、バイオマスより 20°Cにおける年平均の日単位幹維持呼吸量(以下 $MR_{20^{\circ}\text{C}(w)}$)を求めた。 $MR_{20^{\circ}\text{C}(w)}$ に維持呼吸指数の年積算値を乗じて、年間の幹の維持呼吸量を推定した。

$$MR_{\text{ann}(w)} = MR_{20^{\circ}\text{C}(w)} \times \Sigma_{\text{ann}}\text{MRI}$$

ここで $MR_{\text{ann}(w)}$ は年間の幹の維持呼吸量を、 $\Sigma_{\text{ann}}\text{MRI}$ は維持呼吸指数の年積算値を表す。

成長呼吸量は年間の葉バイオマス最大値と設定パラメータのみから求め、日 NPP の年積算値から年間の幹維持呼吸量、成長呼吸量を引いて年間の NPP を推定した。

ウ：変動の評価

(ア) 全球 NPP の経年変動

推定した 18 年間の NPP について全球の総和を取り、全球 NPP の経年変動の様子を示した。また、大気 CO₂ 濃度増加率、エルニーニョ南方振動指数(以下 MEI)および全球 NDVI 総和の三者について、それぞれの経年変動との比較を行った。

大気 CO₂ 濃度増加率は CDIAC よりマウナロアでの大気 CO₂ 濃度観測データを用いた。MEI は NOAA-CIRES/CDC より MEI データを用いた。NDVI は上述の PAL-Ver.3 NDVI データを用いた。

(イ) 緯度別の経年変動

18 年間の NPP を年ごとに、北半球高緯度帯(北緯 90 度－北緯 67.5 度)、北半球中緯度帯(北緯 67.5 度－北緯 22.5 度)、赤道帯(北緯 22.5 度－南緯 22.5 度)、南半球中緯度帯(南緯 22.5 度－南緯 67.5 度)の 4 地域に分割し、緯度帯別の NPP の経年変動を評価した。南半球高緯度帯(南緯 67.5 度－南緯 90 度)については NPP の経年変動が見られなかったため除外した。

(ウ) 差分、比による 80 年代－90 年代比較

18 年間の NPP を前半 9 年間と後半 9 年間にわけ、前半 9 年間の平均値を 80 年代平均(1982－1990)とし、後半 9 年間の平均値を 90 年代平均(1990－1999)とした。80 年代平均と 90 年代平均について差分および比による比較を行った。乾燥度(=降水量/可能蒸発散量)により乾燥度帯を区分し、各乾燥度帯ごとに NPP のトレンドを分析した。

② 結果・考察

全球の陸域 NPP 推定値は 62.8 GtC/yr であった。この値はこれまで報告されてきた全球陸域 NPP の推定値(たとえば Nemani et al.²⁰⁾)と大きな差はみられない。NPP の分布(図 19)は、南アメリカ、米国東部、アフリカ西部で特に高い値を取り、逆に乾燥地の周縁部は低い値を取った。

全球の NPP はこの 18 年間で増加傾向を示した。NPP の増加率は 2.3%/18yr (0.08 GtC/yr 増)と推定され、全球 NPP と大気 CO₂ 濃度増加率との比較では類似したパターンおよびオーダーの変動が見られた。緯度帯別 NPP の比較では、緯度帯ごとに大きな変動の違いを示した。北半球中高緯度帯では 1990 年代前半の数年間は減少傾向を示したのに対して、赤道帯では同時期に非常に大きな増加を見せた。

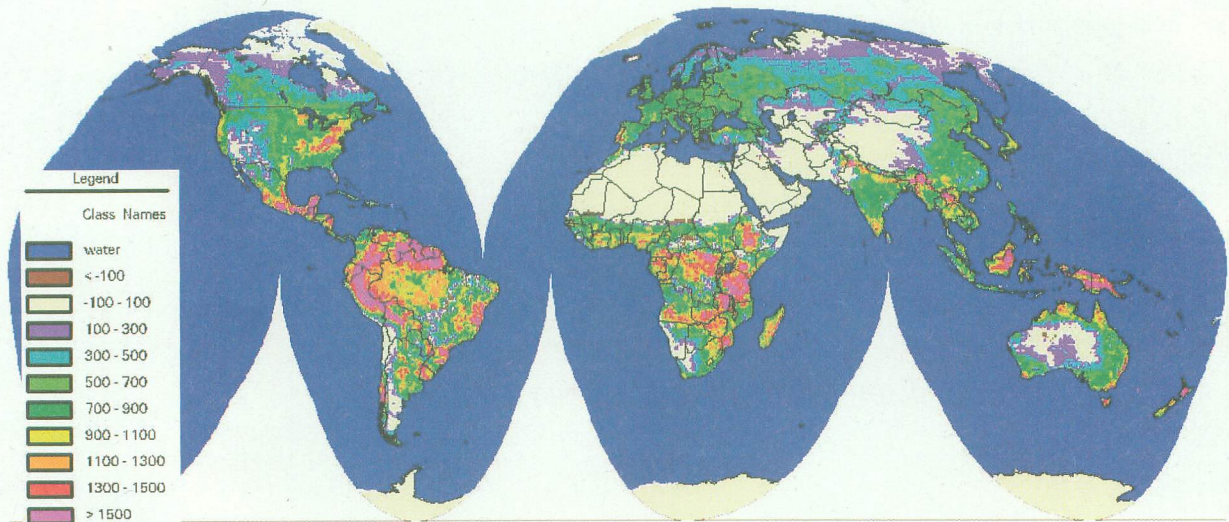


図 19 全球陸域 NPP の推定 (1982~1999 年の平均値)



図 20 乾燥度帯ごとの NPP トレンド (1982~1990 年および 1991~1999 年)

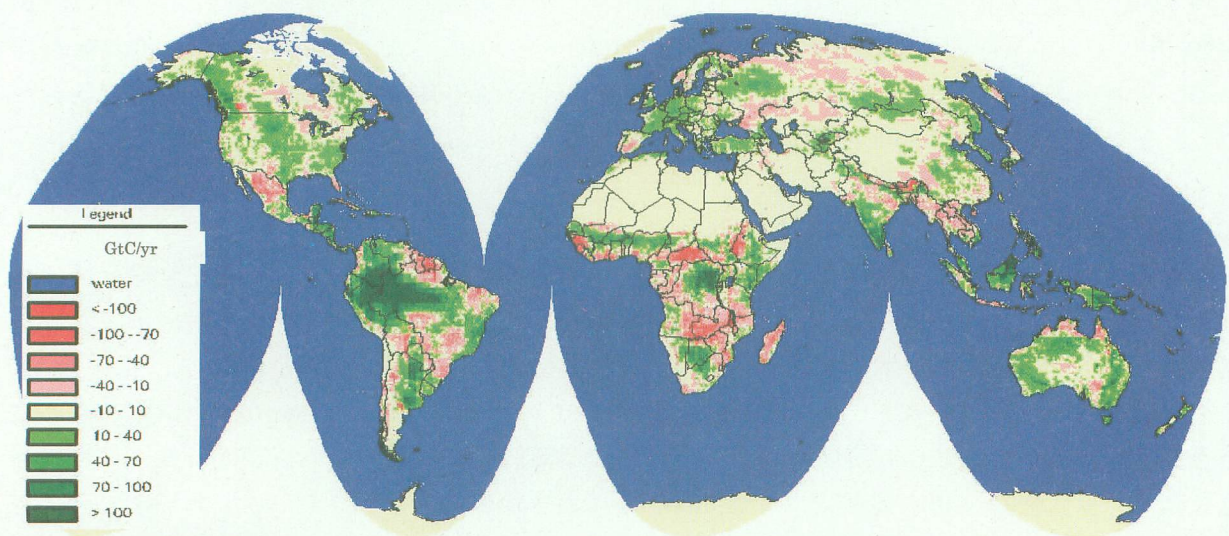


図 21 全球陸域における NPP トレンド (前半(1982~1990 年)と後半(1991~1999 年)との差分)

※ 赤で示された地域が減少地域、緑で示された地域が増加地域

80年代、90年代の差分比較では、赤道帯でNPPの増減の大きい地域が多く見られた。80年代、90年代の比による比較では、北アメリカ北西部で大きな増加を見せた。一方、ユーラシア大陸北部では減少地域が多く見られた。

乾燥度帯ごとのNPPは、前半(1982~1990年)と後半(1991~1999年)、それぞれについて、極乾燥地域では0.7→0.6、乾燥地域では62.5→63.4、半乾燥地域では433.3→440.6、乾性半湿潤地域では618.4→623.0、湿潤地域では543.7→550.6(単位はすべて $gC/m^2/yr$)と推定された(図20)。

NPPトレンドを地域的に分析すると、GLASODで報告されているのと同様、中国北東部から黄土高原にかけて、モンゴル中緯度地域、ロシアとカザフの国境周辺、インド北西部などでNPPの減少が認められた。さらにカザフ中央部、バルハシ湖北部などGLASODで報告されていない地域でもNPPの減少が認められた(図21)。

5. 村落レベルにおける砂漠化統合モデルの開発

(1) 村落レベルにおける砂漠化統合モデルの概要

本研究で扱う3タイプのモデルは以下(3)~(5)に示すものである。実際に使用する各モデルの有効性を明らかにするために、サブテーマ4で2002年9月までの現地調査で収集した気象・土壌データと農村調査結果およびサブテーマ1で独自に収集したデータをもとに、各モデルを試行し、その妥当性について検証した。

図22にシミュレーションの流れを模式的に示す。まず、生物生産力(EPIC)モデルでは農業活動に基づいて、植物生産量と土地状態の応答を定量的に評価することで、収量と環境変化(土壌侵食量)を出力させる。続いて、農家経済(線形計画)モデルでは、村落調査で得られる労働力、リスク条件、食糧消費、土地面積、土壌の肥沃度などの制約条件下で、基本的には農家の収入を最大化するよう農業(耕地面積構成)と牧畜業(家畜頭数構成)を最適化する解を導く。そして需給評価モデルでは人口許容力の概念を用いて、これらの農業・牧畜の生産が地域住民が生活する上での需要をどの程度満たすかを評価する。この一連のシミュレーションによって、砂漠化の進行/回復を予測し、適切な土地利用計画を提言する方法論を確立する。

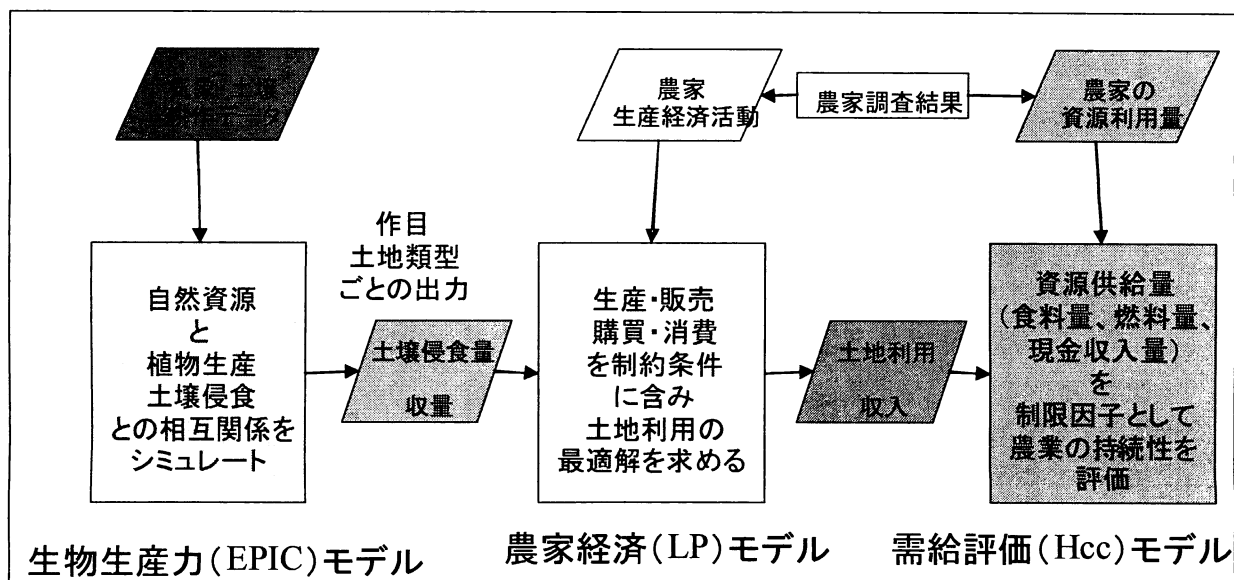


図22 村落レベルの砂漠化統合モデルのフレーム

(2) 対象村落の概要

サブテーマ4により農村調査を実施された村落は、中国内蒙古自治区・準格爾(Jungal)旗・圪針堰(Gezhenyan)村である。この村はフフホトの南約 150 km に位置する、21 戸の世帯からなる自然村である。主要な耕作作物はトウモロコシと糜子(ヒエ)で、堰地といわれる河床の平地部でトウモロコシを集約的に育てている。また、丘陵頂部の傾斜地においても、水土保持のため梯田といわれる等高線耕作をしており、トウモロコシ、ヒエ、ヒマワリ、ジャガイモなどを育てている。地形は河床から急峻な傾斜地が広がり、耕作に不適な急傾斜の草地を利用してヤギ、ヒツジなどの放牧が行われている。したがって、現地で最も深刻な土地荒廃は土壌侵食であり、谷筋を中心に深いガリー侵食が発達しており、急傾斜部では被害が大きい。

一方、サブテーマ1により独自に調査された村落は、中国内蒙古自治区・呼和浩特市・武川県内にある大永安昌村、小永安昌村、韓慶堰村、小三合玉村の4村落である。当該地域の気候は寒冷でかつ乾燥しており、年平均気温は 2.5℃、年平均降水量は 360 mm である。天水農地と放牧地が入り交じった農牧地域に位置し、主たる収入はジャガイモ、小麦、燕麦、油菜などの農作物から得られているが、ヒツジ、ヤギなどの家畜飼育も同時に行われている。

(3) EPIC (村落レベルの生物生産力モデル)

EPIC (Environmental Policy Integrated Climate) Model²¹⁾は、米国農務省(USDA: US Department of Agriculture)－農業研究局(ARS: Agricultural Research Service)が開発した農業環境の統合モデルである。当初、EPIC モデルは、「Erosion Productivity-Impact Calculator」と命名されたが、その汎用性から、現在では上記のように呼ばれる。EPIC では、自然資源(土壌、気象、水文)と植物生産(作物収量)との相互関係をシミュレートし、植物生産量、土壌養分、土壌侵食量、土地からの利益、肥料・農薬の効果などを推定する。通常用いる EPIC の入力データおよび出力データは以下の通りである。

「入力データ」

- (1) モデルパラメータ：シミュレート年数，開始年月日，出力間隔，出力コード，気象データコードなど（全 21 項目）。
- (2) 地点水文環境データ：流域面積，水路の長さ，積雪水量，貯水池の大きさ，土地の傾斜など（全 25 項目）
- (3) 気象データ（温度・降水条件）：月平均の最高・最低気温，←標準偏差，月降水量，←標準偏差・歪度，無降水日翌日の降水確率，降水日翌日の降水確率，降水日数，30 分降水量の最大値，平均日射量，平均相対湿度など（全 16 項目）
- (4) 気象データ（風条件）：農地の長さや幅，風食のパラメータ，月平均風速，16 方位風向の月別頻度など（全 24 項目）
- (5) 土壌データ：土壌のアルベド，土壌の層数，地下水面の最大値・最小値，土壌の風化度，各土壌層の深さ・しおれ点・容水量・砂シルト含有率・有機窒素量・pH など（全 32 項目）
- (6) 耕作データ：灌漑方法，貯水池，施肥方法など（全 19 項目）＋施行月日，施行項目，種類（植える作物），量（肥料，殺虫剤など），条件（積算温度など）

「出力データ」

- (1) 各年の水文気象データ (PET, 流量, 蒸発量など)
- (2) 各年の作物生長 (LAI, バイオマスなど), 収穫量, 生産コストなどの農業成果
- (3) 農業による土壌変化 (土質, 養分, 土壌侵食量など)

EPIC には、放牧、灌漑、耕作コストなどの効果も盛り込まれており、半乾燥地の砂漠化評価にも適応させやすいモデルであると考えられる。本研究では、農村調査結果に基づいて、各作物別の収量ならびに土壌侵食量を推定した。

EPIC モデルを用いて、現地調査で得られた気象・土壌等のデータから生物生産力・土壌侵食量を推定した。ここではとくに水食が比較的激しい Gezhenyan 村での結果を示す。作目ごとに土地類型(平地、傾斜地)や肥料投入などの収集データを入れたシミュレーションを実施し、生産量推定の妥当性を検証した。気象データ(Jungal 旗)と土壌データ、耕作カレンダー、施肥量などの農業データを入力値とし、トウモロコシ、ジャガイモ、ヒエを平地、梯田(等高線耕作)、傾斜地で分けて試行した。

得られた推定結果は、天水農業を仮定したため、収量は傾斜地において村落調査の結果とよく対応していた(表7)。また、土壌侵食量は作物ごとに土地傾斜の変化に対応していることが示され、傾斜地においては、ジャガイモ耕作が土壌侵食の軽減に効果があることを示唆する結果が得られた(図23)。

表7 作目別・土地類型別の収量 (単位: t ha⁻¹)
 -Jungal 旗・Gezhenyan 村の事例-

作目	トウモロコシ		ジャガイモ	ヒエ
	平地	傾斜地	傾斜地	傾斜地
EPIC	6.2	6.0	5.5	1.9
調査結果	9.3	5.1	7.1	1.8

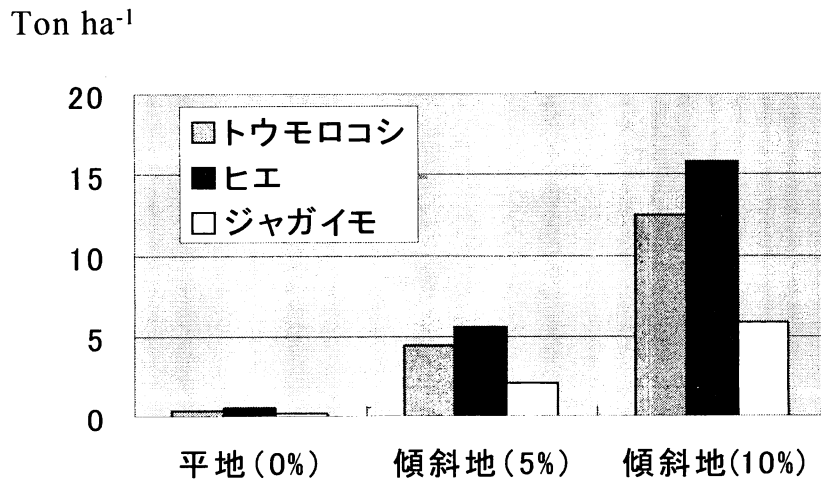


図23 作目別・土地類型(傾斜)別の推定土壌侵食量 (単位: t ha⁻¹)
 -Jungal 旗・Gezhenyan 村の事例-

また、武川県における解析では、後で述べるように、EPIC モデルを用いて現状(モデルランの最初の 10 年間の平均値)と約 25 年後(モデルランの 21~30 年目の平均値)における作物生産力と土壌侵食量を推定した。武川県における主要作物の生産力の実測値と EPIC モデルによる推定値との比較結果は図 24 に示すとおりである。EPIC モデルから推定された現状の作物生産力と 2000 年(降水量は平年値と近い)の調査に基づく作物生産力は比較的近い値をとった(たとえばジャガイモ：9710 と 8865[kg/ha]、コムギ：1005 と 1036、ゴマ：651 と 599)。したがって、本調査地域においては、EPIC モデルによる作物生産力と土壌侵食量の推定はほぼ妥当であろうと思われる。

EPIC によってシミュレーションを行うことで、地域別の砂漠化要因の影響について検討を行うことが可能となる。現時点での各地域における具体的な砂漠化要因としては、中国内モンゴ(サブテーマ 4)では、水食・風食による土壌侵食、カザフスタン(サブテーマ 5)では、耕作の粗放化および塩害、また、パキスタン(サブテーマ 6)では、主として灌漑による塩害が対象になると考えられる。なお、サブテーマ 6 では、特に塩性化に対する EPIC モデル適用を検討することとしたので、参照されたい。

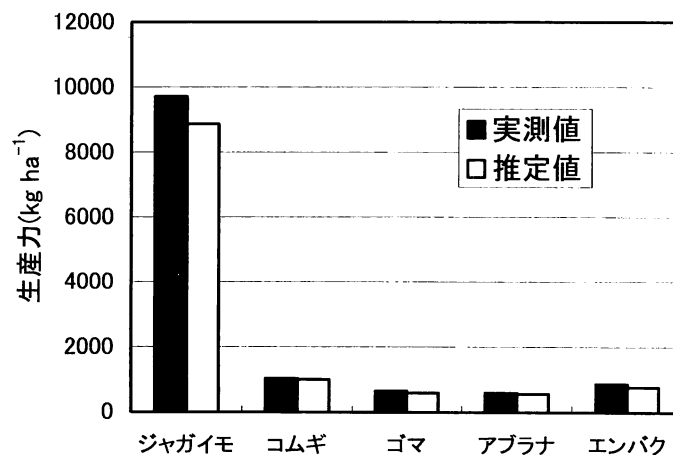


図 24 武川県における主要作物の生産力の実測値と EPIC モデルによる推定値との比較

(4) 線形計画モデル (村落レベルの農家経済=環境影響モデル)

線形計画法は他の部門選択理論と違い、比較選択を行う部門を全体の経営条件との関連において捉え、かつ、諸部門の最適結合水準を量的に明確化している。線形計画法は、対象全体を捉える手法が体系化されている上、研究対象も戸レベル、村落レベルのケースが多く、スケール的にも適当である。線形計画法によって環境基準を考慮した計画案を作成する最大の利点は、様々なケースにおける全体像を具体的に提言できることにあると思われる。また経済的持続性と生態系持続性を自然な形で議論できることも利点である。本研究では、生産、消費、購入、販売および環境影響(土壌侵食量)の 5 種類のプロセスを考慮した。

現地調査で収集された中国内モンゴ自治区 Jungal 旗 Gezhenyan 村の農業データを用いて、線形計画法を用いた村落レベルの農家経済=環境影響モデルを構築した。プロセスとして、生産、販売、購買、消費および生物生産力・土壌侵食量を導入した。村落レベルの農家経済=環境影響モデル

によって、まず、国内市場変動および WTO 加盟等に伴う農産物価格変動による土地荒廃への影響をシミュレーションした。

その結果、豚肉や羊の価格変動に伴い、家畜の構成は変動するものの、農家所得と土壌侵食量には大きな影響がみられない。主として飼料として利用されるトウモロコシおよび主食とされるヒエの価格変動も同様に農家所得と土壌侵食量に大きな影響がないようであった。ヒマワリやアブラナなど換金作物の価格変動には、傾斜地およびテラスの土地利用方式の変動が伴うため、土壌侵食量に顕著な影響を与える。ヒマワリ価格の上昇に伴い土壌侵食量が増大し、アブラナ価格の上昇につれて、土壌侵食量が減少することが推定された。

つぎに、退耕還林還草政策等の実施による土地荒廃防止の効果をシミュレーションした。退耕還林還草政策を実施せず、すべての傾斜地を畑にした場合に比べ、この政策の導入によって土壌侵食量が大幅に減少する。同時に農家所得も緩やかに減少する。傾斜畑をすべて草地とすると、土壌侵食量は年間 348 t から 40 t まで減少できると予測された。また、退耕還林還草政策の導入手段として補助金を付加する場合、畝 (0.67ha) 当たり 160 元以上の補助金を付加すると、傾斜畑の栽培中止面積が増え、土壌侵食量が減り始め、同時に農家所得も減少することなく、土壌侵食を抑制できることが推測された (図 25)。

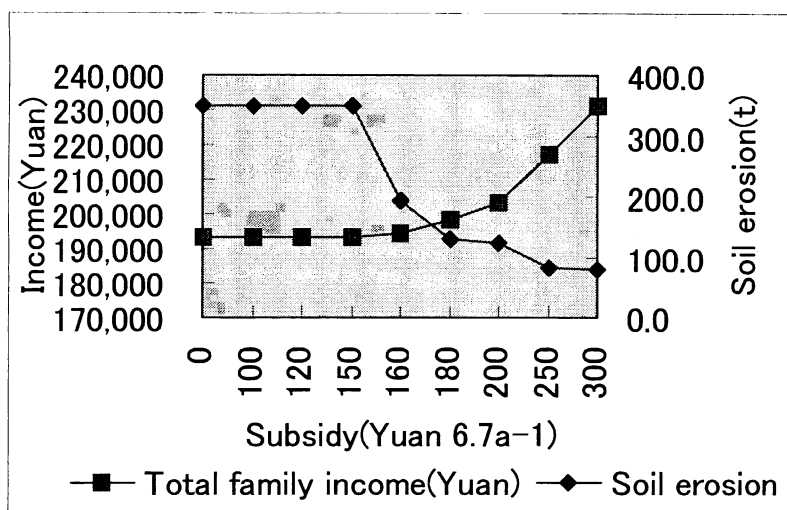


図 25 退耕還林政策にともなう補助金額と収入・土壌侵食量の関係

一方、武川県では大永安昌村において農家経済モデルの適用を試みた。ここではまず EPIC モデルを用いて現状 (モデルランの最初の 10 年間の平均値) と約 25 年後 (モデルランの 21~30 年目の平均値) における作物生産力と土壌侵食量を推定した (図 26、27)。EPIC モデルから推定された作物生産力とその他の必要パラメータを農家経済モデルに入力し、将来シナリオごとに、年次ごとの耕作面積構成と家畜頭数構成を推定した。将来シナリオとしては「なりゆきシナリオ」と「退耕還林還草シナリオ (耕地から草地への転換に対して面積に応じて補助金を与える)」の二つを与えて比較した。

この結果 (図 26)、現状と比較して約 25 年後には、耕地面積構成はジャガイモとコムギが減り、

アブラナ、ゴマ、エンバクが増えることが予測された。これは EPIC モデルから、将来、土壌侵食にともない、特にジャガイモとコムギの生産力が減少すると推定されるためである。家畜頭数は全体的に大きく減ることが推定された。これは作物生産力が減少するために、十分な家畜購入費用をまかなうことができなくなると推定されたためである。

また補助金額の変化と土壌侵食量との関係を見ると(図 27)、現状では1畝(0.67ha)当たり 60 元以上、約 25 年後では1畝(0.67ha)当たり 50 元以上で土壌侵食量が減少することが示唆された。これは補助金額を受け取り退耕還林還草を進めることが収入の増加につながるため、傾斜地におけるゴマやアブラナの栽培を止め、草地に転換することが予測されるためである。

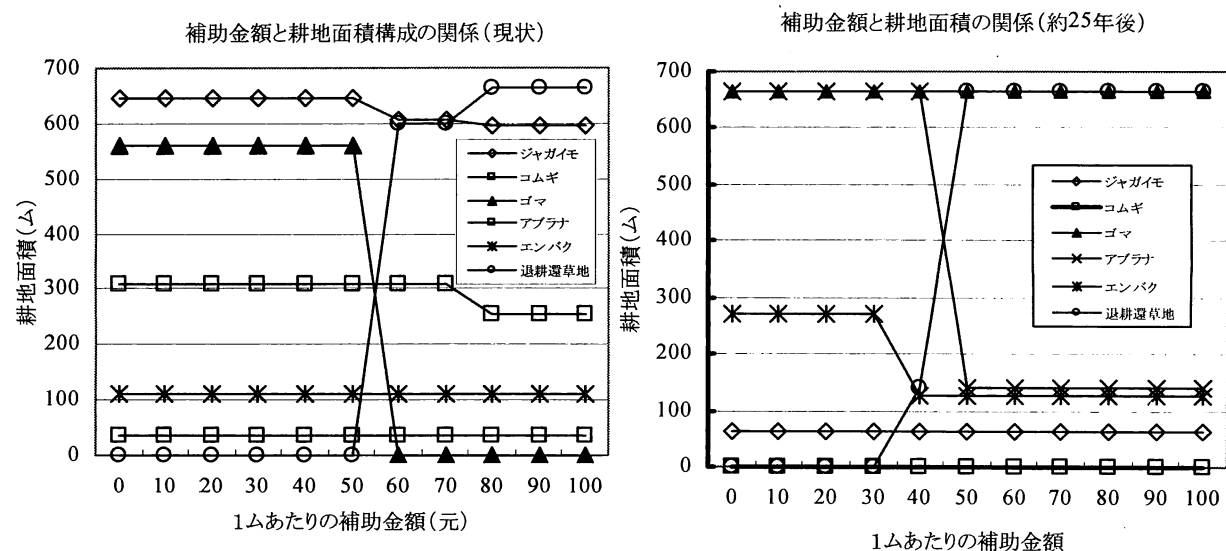


図 26 退耕還草政策にともなう補助金額と耕地面積構成の関係 (左：現状、右：約 25 年後)

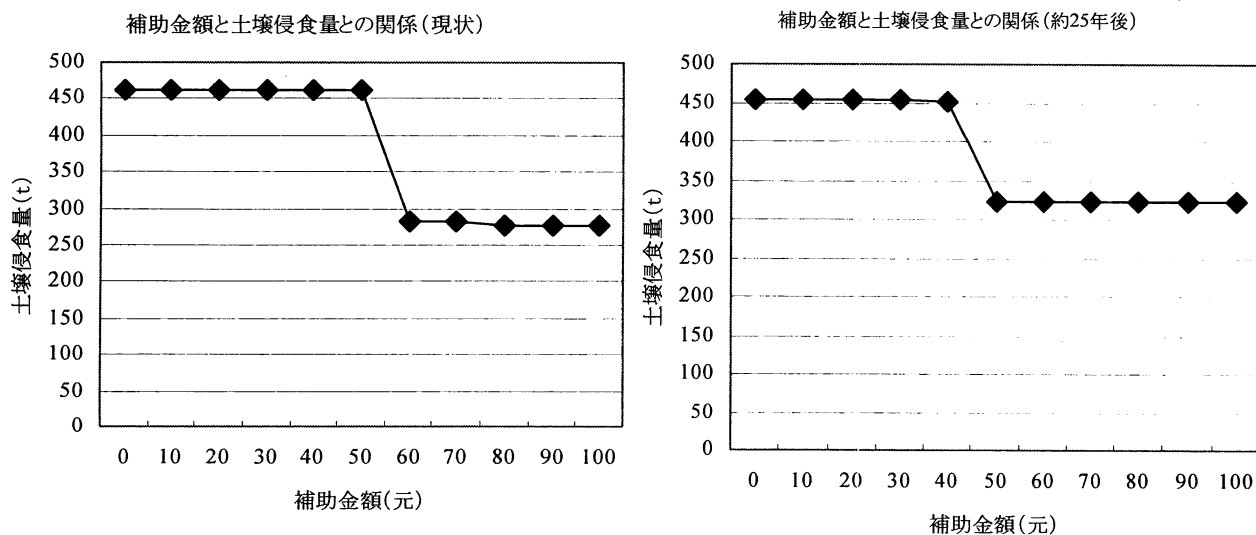


図 27 退耕還草政策にともなう補助金額と土壌侵食量の関係 (左：現状、右：約 25 年後)

(5) 需給評価モデル

需給評価モデルとは、所与の生物生産量と1人あたりの生物資源必要量から、その土地の人口許容力を推定し、生物生産量が需要を満たすかどうかを評価するモデルである。今回作成したモデルでは、人間生活に必要な物資として、直接供給食料量、直接供給燃料量、現金収入量を人口許容力制限因子とした。これにより、燃料供給量に比べ、その需要量が大きい地域(乾燥地、寒冷地)や、生活水準が向上し、様々な物資が必要とされる地域における人口許容力推定と、それに基づく生物資源の需給評価が可能になる。

① 内モンゴ・武川県の4村落における全体的な解析

まず内モンゴ・武川県の4村落におけるデータをもとに全体的な解析をおこなった。生物資源の需給バランスを評価するにあたり、「人口許容力」[人/ha]という概念を導入し、現状の人口密度と人口許容力を比較することにより生物資源の生産量が十分であるかどうかを評価した。

人口許容力に影響する要素として、土地生産力(単位面積あたりの生物資源生産量)、土地利用構成、一人あたり生物資源必要量、農産物価格を考え、これらを入力パラメータとした人口許容力推定モデルを考案した。モデルでは年単位のデータを利用し、人口許容力(Hcc)を、一人あたりの食料必要量[元/人](Fo)、燃料必要量[元/人](Fu)、建料必要量[元/人](B)、5料以外の生活必要経費[元/人](C)、および1haあたりの土地生産力[元/ha](P)、播種用種子必要量[元/ha](S)、役畜用飼料必要量[元/ha](L)、肥料必要量[元/ha](F)を用いて次式のように表した。

$$Hcc = \frac{P - (S + L + F)}{Fo + Fu + B + C}$$

また、土地生産力[元/ha](P)は、耕地主産物生産力[元/ha](Pam)、耕地副産物生産力[元/ha](Pab)、農用地内の耕地割合[ha/ha](a)、放牧地飼料生産力[元/ha](Pg)、農用地内の放牧地割合[ha/ha](b)を用いて以下のように定めた。

$$P = (Pam + Pab) \times a + Pg \times b$$
$$a + b = 1$$

調査解析の方法：モデルの入力パラメータを求めることを目的として、対象4村落に居住する全世帯に対して、2000年1年間の生物資源利用量、農産物価格などについてアンケートを行った。また土地生産力を測定するために刈り取り調査を行った。生物資源の元素分析および文献・統計調査により、エネルギー換算データを作成し、単位エネルギーあたりの価格を求めた。モデルの計算は、四つの土地利用構成シナリオのもとで行った。すなわち、現状シナリオ(現状の土地利用構成の場合)、放牧地化シナリオ(a=0, b=1:農用地をすべて放牧地にした場合)、耕地化シナリオ(a=1, b=0:農用地をすべて耕地にした場合)、人口許容力最大化シナリオ(人口許容力が最大になるよう土地利用構成を調整した場合)である。

結果・考察：4つの土地利用構成シナリオを用いて推定した人口許容力の値を表8の⑤に示す。現在の耕地割合における人口許容力(現状シナリオ)は、耕地割合が大きい村ほど、また耕地生産力が高い村ほど大きくなった。また人口許容力を最大化する耕地割合(人口許容力最大化シナリオ)は0.72から1.00であり、そのときの人口許容力は、0.54人/haから1.35人/haであった。すな

わち、いずれの村でも耕地割合を現状の約2倍から約4倍に増やしたときにもっとも多くの人口を養うことができると推定された。そのときの人口密度は現在の人口密度と比べて、DY、XY、HQでは約2倍、現状の耕地割合がとくに低いXSでは約13倍である。

表8の⑥に現在の人口密度の人口許容力に対する割合を示す。現在の土地利用構成下(現状シナリオ)ではすべての村でその値は1より小さく、このことは全ての村で現在の土地利用構成のままでも現在の人口密度ならば地域の生物資源の生産によって養うことができることを意味している。

また、村ごとに現在の人口密度の人口許容力(現状シナリオ)に対する割合を比較すると、XY、XS、DY、HQの順で大きい値になった。この傾向は表の①に示した村外への移住者数および5料充足満足度の値の傾向と似た傾向を示す。また、1990年時点での人口密度の人口許容力に対する割合は、XY、XS、DY、HQの順で大きい値になり、移住の状況とよく合致する。

この人口許容力に基づく評価は、その値が移住者数や5料充足満足度によってあらわされる各村の現状によくあてはまっていたことから、一定の有効性が示されたと考える。

表8 入力パラメータと人口許容力の推定 — 武川県4村落における解析 —

表 入力パラメータと人口許容力推定結果

	対象村落				平均
	DY	XY	HQ	XS	
① 基礎情報					
人口 [人]	126	23	66	40	64
村外への移住者数:90年代 [人]	0	46	0	86	33
人口密度 [人/ha]	0.48	0.23	0.17	0.03	0.23
耕地割合	0.46	0.27	0.26	0.02	0.25
5料充足満足度 [%]	64.9	54.3	56.3	38.0	53.4
② 土地生産力関係 [元/ha]					
耕地主産物生産力	1675	1160	1038	1080	1238
耕地副産物生産力	215	70	118	48	112
放牧地飼料生産力	109	55	86	47	74
③ 必要量関係 [元/ha]					
播種用種子量	340	163	180	238	230
肥料量	322	322	322	322	322
役畜飼料量(耕地主産物換算)	846	1323	917	1080	1041
役畜飼料量(耕地副産物換算)	115	91	95	54	89
④ 価格関係 [元/MJ]					
耕地主産物価格	0.103	0.102	0.106	0.119	0.108
耕地副産物価格	0.014	0.007	0.011	0.006	0.010
放牧地飼料価格	0.014	0.007	0.011	0.006	0.010
⑤ 人口許容力 [人/ha]					
現状シナリオ	0.687	0.255	0.249	0.041	0.308
放牧地化シナリオ ($a=0, b=1$)	0.128	0.064	0.100	0.055	0.087
耕地化シナリオ ($a=1, b=0$)	1.353	0.431	0.662	0.452	0.725
人口許容力最大化シナリオ	1.353	0.575	0.662	0.535	0.781
人口許容力を最大化する 耕地割合	(1.00)	(0.72)	(1.00)	(0.87)	(0.90)
⑥ 現状の人口密度の評価 (人口密度/人口許容力)					
現状シナリオ	0.699	0.902	0.663	0.756	0.755
放牧地化シナリオ ($a=0, b=1$)	8.421	4.035	2.895	0.544	3.974
耕地化シナリオ ($a=1, b=0$)	0.355	0.534	0.249	0.069	0.302
人口許容力最大化シナリオ	0.355	0.400	0.249	0.058	0.265

1元 = 約15円

② 大永安昌村での適用－EPIC モデルと LP モデルとの連動

大永安昌村でのさらに詳細な調査をもとに、農家経済モデル(LPモデル)の結果を組み込むことができるようにこの人口収容力モデルを改良し、前記した(4)の結果得られた、耕地面積構成・家畜頭数構成を入力することによって、将来の需給評価を予測した。

評価は、現状(退耕還林還草なし)、現状+退耕還林還草(60元/ムの補助金)、約25年後のなりゆきシナリオと、退耕還林還草シナリオ(50元の補助金)で、それぞれ人口増加率+3%(現状のトレンド)と-6%の、計6ケースについて行った。

結果は表9にまとめたが、土壌侵食量はいずれの場合も1畝(0.67ha)当たり50元ないし60元の補助金による退耕還林還草政策の誘導により大きく減少することが予測された。補助金の額は、前述のJungal旗Gezhenyan村における160元と比べ、違いが見られた。これはとくに面積あたりの経済生産力の違いを反映しているものと思われる。

人口許容力[人/ha]は25年後には大きく落ち込むと予測された。これは土壌侵食にともない作物生産力がジャガイモで3割程度、コムギで5割程度低下することがEPICモデルから予測されたためである。一方、人口増加が現状のまま推移すると(年3%増加)、人口密度/人口許容力の比は1を大きく超えて増加する。このことは地域の生物生産の供給量に比べて、地域人口の求める需要量が過大であることを示している。年6%の人口減少と50元の補助金によって退耕還林還草を行う場合には、低下する土地生産力によって地域人口をかろうじて支えることができる水準と予測された。

表9 生物生産力モデル(EPIC)－農家経済モデル(LP)－需給評価モデル(Hcc)の統合的利用による現状と将来の評価

	現状		約25年後			
	退耕還草なし	退耕還草 (補助金60元)	なりゆきシナリオ		退耕還草(50元補助金)	
			年人口減少率6%	年人口増加率3%	年人口減少率6%	年人口増加率3%
土壌侵食量 [t]	463	282	454	454	323	323
人口許容力(Hcc) [人/ha]	0.39	0.41	0.08	0.08	0.10	0.10
人口密度(PD) [人/ha]	0.48	0.48	0.14	1.16	0.14	1.16
補正済み人口密度(PDnpp=PD×0.7) [人/ha]	0.34	0.34	0.10	0.81	0.10	0.81
補正済み人口密度/人口許容力 (PA=PDnpp/Hcc)	0.86	0.82	1.30	10.46	1.00	8.05

以上のように本研究で提案した村落レベルの砂漠化統合モデルを用いることによって、以下のようなシミュレーションを行うことができる。

- ・作物栽培管理手法の違い(施肥、土壌保全、作付等)
- ・作物・家畜の売買価格(上の例では変えていない)
- ・耕作面積構成・家畜頭数(上の例ではLPモデルの出力値を用いたが、これを需給評価モデルに対して外生的に与えることもできる)
- ・人口増加率

また統合モデルの出力として、以下のような数値を与えることができ、最終的には人口許容力というわかりやすい指標に集約させて評価することができる。

- ・作物別の収量、土壌侵食量（生物生産モデル）
- ・耕作面積構成、家畜頭数（農家経済モデル）
- ・人口許容力、人口密度/人口許容力比（需給評価モデル）

この統合モデルを用いることにより、補助金による退耕還林還草の導入、各種土壌保全策の実施、燃料効率の向上、などの砂漠化対策技術の効果を定量的に予測・評価することが可能となった。

ただしモデル出力値の不確実性は、将来予測においては不可避である。とくに農家経済モデルの中には、調査結果に基づく調査時点での社会経済構造が埋め込まれている。たとえば今は見られない作目や家畜種、新たな営農形態の出現等、社会経済構造自体を大きく変えてしまうような変化の可能性の予測に対しては、このモデルは無力である。また外生的に与えるパラメータの中にも、作物や家畜の売買価格等、予測の困難なものが含まれている。

これらのモデルの限界を踏まえつつ、可能な限りモデルの精度をあげることで、より現実的な将来予測を与えること、費用対効果の高い砂漠化対策を示すこと、動的な予測が行えるように各サブモデルをオンラインで結合すること等が今後の課題である。

6. 本研究により得られた成果

(1) 国家・準国家レベルの砂漠化評価手法については、主に一般的な統計データ等を用いて、行政単位レベルにおける B-P-S-E-R の各側面を含む総合的な評価を行うための評価システムの枠組・手法を構築した。この枠組み・手法は、今後、改善を図るべき部分はあるものの、国家・準国家単位における砂漠化の要因、現状、影響、対策等について、その関係・バランスを考察したり、国家間あるいは準国家間での相対的な比較を通じて、ある行政単位の砂漠化対応の重要性を早期に見極めるための道具として活用できる可能性があることが示された。

(2) 広域レベルの砂漠化モニタリングについては、現状 NPP を潜在 NPP と比較する方法(潜在-現状比較法)により、砂漠化の植生荒廃プロセスを統一的な基準で評価する手法を開発し、植生荒廃地の分布を示すことができた。得られた植生荒廃地の分布を検討した結果、概ねその評価は妥当なものと判断された。また時系列的な NPP を分析することにより(トレンド法)、GLASOD で報告されているのと同様、中国北東部から黄土高原にかけて、モンゴル中緯度地域、ロシアとカザフスタンの国境周辺、インド北西部などで NPP の減少が認められた。さらにカザフスタン中央部、バルハシ湖北部など GLASOD で報告されていない地域でも NPP の減少が認められた。

(3) 村落レベルの砂漠化統合モデルについては、生物生産力モデル、農家経済モデル、需給評価モデルという3タイプのモデルを設定し、中国・内蒙古で収集したデータを用いて、実際にシミュレーションを試みた。全体として、これら3タイプのモデルを組み合わせることによって、土地荒廃→生物生産力の減少→需給バランスの変化→耕作面積・家畜頭数の変化→生活の質の悪化、といった一連の砂漠化プロセスをシミュレーション可能であることが示された。

(4) 本研究では、他の地域別のサブテーマ等との連携・情報共有により、各地域レベルの解析のみではなく、ここで示したような種々の砂漠化評価手法の開発・構築に利用することができた。今後の地域研究を含む総合化研究の先駆けとなった。

7. 引用文献

- 1) パシフィックコンサルタンツ株式会社. 1994. 平成5年度国立環境研究所委託業務結果報告書 砂漠化と人間活動の相互影響評価に関する国際比較研究, 114pp.
- 2) 国立環境研究所. 1997. *Data Book of Desertification/Land degradation*, 環境庁国立環境研究所地球環境研究センター, 68pp.
- 3) INCD. 1996. A/AC.241/INF.4-*Report on Ongoing Work Being Done on Benchmarks and Indicators*.
- 4) UNCCD. 1997. ICCD/COP(1)/CST/3/Add.1-*Supplementary Report on Work on Benchmarks and Indicators*.
- 5) UNCCD. 1999. ICCD/COP(3)/INF.3-*UNCCD NATIONAL REPORTS HELP GUIDE*.
- 6) UNCCD. 2000. ICCD/COP(4)/CST/5- *Synthesis of Scientific and Technical Information, Particularly with Regard to the Benchmarks and Indicators Used to Measure Progress, and an Assessment Thereof, Contained in the Reports Received from Country Parties for Consideration by the Committee on Science and Technology*.
- 7) The Task Group Meeting of TPN1. 2001. *A Proposal of B & I System for Desertification Monitoring and Assessment in Asian Region*.
- 8) WRI and UNDP. 1999. *Drylands Population Assessment II*. Draft.
- 9) USDA. *Global Desertification Tension Zones*.
- 10) USDA. *Global Dimensions of Vulnerability to Wind and Water Erosion*.
- 11) Millennium Ecosystem Assessment. 2002. *Millennium Ecosystem Assessment Methods*, 81pp.
- 12) A. Tsunekawa, H. Shimizu. 2001. Causal Indicators System and Desertification Mapping based on Biological Productivity, *Task Group Meeting on Benchmarks and Indicators*. Asian Regional Thematic Programme Network on Desertification Monitoring and Assessment (TPN1), Beijing November 26-29.
- 13) OECD. 1994. *Environmental Indicators*. OECD Core Set. Paris.
- 14) UNCED. 1996. *Indicators of Sustainable Development Framework and Methodologies*. New York, NY.
- 15) EEA. 1998. EU State of the Environment Report 1998. *Guidelines for Data Collection and Processing*. ITE, NERI. Copenhagen.
- 16) Potter et al. 1993. Terrestrial ecosystem production: a process model based on global satellite and surface data, *Global Biogeochem Cycles*. 7, 811-841.
- 17) L. R. Oldeman, R. T. A. Hakkeling, and W. G. Sombroek. 1991. *World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation: An explanatory Note (rev. ed.)*, UNEP and ISRIC, Wageningen. 34 pp. with maps.
- 18) S. S. Young, C. Y. Wang. 2001. Land-cover change analysis of China using global-scale Pathfinder AVHRR Landcover (PAL) data, 1982-92, *International Journal of Remote Sensing*, 22, 1457-1477.
- 19) S. W. Running, P. E. Thornton, R. R. Nemani, J. M. Glassy. 2000. Global terrestrial gross and net primary productivity from the Earth Observing System. *Methods in Ecosystem Science* (Eds. Sala O, Jackson R, Mooney H.), Springer-Verlag, New York: pp. 44-47.

- 20) R. R. Nemani, C. D. Keeling, H. Hashimoto, W. M. Jolly, S. C. Piper, C. J. Tucker, R. B. Myneni, S. W. Running. 2003. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. *Science* 300: 1560-1563. — (with Materials and Methods available as supporting material on Science Online)
- 21) J. R. Williams, C. A. Jones, and P. T. Dyke. 1984. The EPIC model and its application. pp. 111-121 In *Proc. ICRISAT-IBSNAT-SYSS Symp. on Minimum Data Sets for Agrotechnology Transfer*, March 1983, Hyderabad, India.

8. 国際共同研究等の状況

- ・ UNCCD/CST の専門家グループの活動を支援する日本側組織、「砂漠化対処条約早期警戒体制小委員会」（清水が委員として参加）と連携して本研究を推進した。
- ・ UNCCD/TPN1：「砂漠化のモニタリングと評価（ホスト国：中国）」のアジア地域活動と連携して本研究を推進した。清水は TPN1 の日本側フォーカルポイントとして登録されている。2001 年 11 月に北京で開催された TPN1 タスクグループ会合には、日本から清水と恒川が参加し、アジアの砂漠化指標と砂漠化の地図化について発表・討議した。その後のグループメンバーによる検討後、2003 年 10 月に TPN1 の総会 (TPN1 Plenary Meeting on Benchmarks and Indicators Development and Mapping for Desertification Monitoring and Assessment) が北京で開催された。本会合には、環境省の松本課長補佐と共に、清水が参加し、砂漠化のモニタリングと評価における勧告案を討議した。結局、採択された勧告案には本研究の成果を反映できた。本勧告は砂漠化対処条約にアジア地域からの成果として報告される。
- ・ 2004 年 2 月には、本研究課題の成果を中心に、国際シンポジウム (主催：国立環境研究所) を開催し、内外の砂漠化研究者との交流を推進した (要旨集を参考資料として添付)。
- ・ 2004 年 2 月には、また、アジア地域の専門家会合 (Meeting of Asian Region Members of Group of Experts, UNCCD) が開催され、清水と恒川が日本側関係者として正式に参加すると共に、他の多くのメンバーが、本会合に参加し、“benchmarks and indicators”、“desertification monitoring and assessment”、“early warning systems for drought and desertification”に関して議論した。本会議の結果は砂漠化対処条約科学技術委員会に報告される。
- ・ 2004 年 5 月には、EU プロジェクトである、AIDCCD (Active exchange of experience on Indicators and Development of Perspectives in the context of UNCCD) の会議、“Think Tank on Use of desertification indicators in the UNCCD Annexes” に、清水が Peer Reviewer の 1 人として招待され、プロジェクト報告に関するレビューおよび研究成果の発表を行った。

9. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表 (学術誌・書籍)

<学術誌 (査読あり)>

- ① 邱 国玉、戸部和夫、清水英幸、大政謙次：沙漠研究, 11, 45-52 (2001) 「草方格による砂丘固定技術の理論と応用。」

- ② G.Y. Qiu, Y. Gao, H. Shimizu, K. Tobe and K. Omasa: *Journal of Arid Land Studies*, 11, 63-70 (2001) "Study on the Changes of Plant Diversity in the Established Communities for Rehabilitation of Desertified Land."
- ③ G.Y. Qiu, P. Shi, H. Shimizu, K. Tobe, Y. Gao and K. Omasa: *Journal of Arid Land Studies*, 11, 111-117 (2001) "Vegetation Indicators of Desertification in the Mu Us Desert and Their Applicability to Remote Sensing."
- ④ K. Tobe, L. Zhang, G.Y. Qiu, H. Shimizu and K. Omasa: *Journal of Arid Environments*, 47, 191-201 (2001) "Characteristics of Seed Germination of Five Non-halophytic Chinese Desert Shrub Species."
- ⑤ Y. Iijima and M. Shinoda: *Journal of Applied Meteorology* 41, 734-743 (2002) "The influence of seasonally varying atmospheric characteristics on the intensity of nocturnal cooling in a high mountain hollow."
- ⑥ K. Tobe, X. Li and K. Omasa: *Australian Journal of Botany*, 50, 163-169 (2002) "Effects of sodium, magnesium and calcium salts on seed germination and radicle survival of a halophyte, *Kalidium caspicum* (Chenopodiaceae)."
- ⑦ Y. Gao, G.Y. Qiu, H. Shimizu, K. Tobe, B. Sun and J. Wang: *Journal of Arid Environments*, 52, 483-497 (2002) "A 10-Year Study on Techniques for Vegetation Restoration in a Desertified Salt Lake Area."
- ⑧ Y. Yamaguchi and M. Shinoda: *Journal of Applied Meteorology*, 41, 1140-1146 (2002) "Soil moisture modeling based on multiyear observations in the Sahel."
- ⑨ M. Nemoto, M. Shinoda and H. Ju: *Journal of Agricultural Meteorology*, 59, 51-58 (2003) "Developing a simple soil moisture model for semi-arid regions: a case for Ordos in Inner Mongolia."
- ⑩ K. Tobe, L. Zhang and K. Omasa: *Seed Science Research*, 13, 47-54 (2003) "Alleviatory Effects of Calcium on the Toxicity of Sodium, Potassium and Magnesium Chlorides to Seed Germination in Three Non-halophytes."
- ⑪ 吉田幹雄、小松由明、鞠洪波、恒川篤史：環境情報科学論文集 17, 363-368, (2003) 「中国内蒙古農村における干ばつが農民生活に及ぼす影響と干ばつに対する農民の対応。」
- ⑫ P. An, S. Inanaga, X.J. Li, H. Shimizu and E. Tanimoto: *Root Research*, 12 (3): 125-132 (2003) "Root characteristics in salt tolerance."
- ⑬ Y. Zheng, Z.X. Xie, Y. Gao, H. Shimizu, L.H. Jiang and Y. Yu: *Belgian Journal of Botany*, 136(2): 129-138 (2003) "Ecological restoration in northern china: germination characteristics of 9 key species in relation to air seeding".
- ⑭ G.Y. Qiu, I.B. Lee, H. Shimizu, Y. Gao, G. Ding: *Journal of Arid Environments*, 56, 449-464 (2004) "Principles of sand dune fixation with straw checkerboard technology and its effects on the environment."
- ⑮ P. An, S. Inanaga, H. Shimizu, X. Li, H.M. Fadul, M. Mars and K. El-Siddig: *African Journal of Ecology*, 42, 1-10 (2004) "Identification of plant species as indicators of desertification degree."

- ⑩ Y. Gao, G.Y. Qiu, G.D. Ding, H. Shimizu, Y. Yu, C.Y. Hu, Y.P. Liu, K. Tobe, Y. Wang and J. Wang: Journal of Desert Research, 24, 365-370 (2004) “Effects of *Salix psammophila* Checkerboard on Reducing Wind and Stabilizing Sand.”
- ⑪ P. An, S. Inanaga, H. Shimizu, K. El-Sidding, X. Li, Y. Zheng, T. Hibino, S. Morita and Y. Sugimoto: Biologia, 59 (13) “Ameliorating effect of calcium on radicle elongation of soybean under sodium stress.” (in press)
- ⑫ Y. Zheng, A. Specht and H. Shimizu: Journal of Arid Environments (in press) “Desertification: Towards Integrated Management.”
- ⑬ Y. Zheng, Z.X. Xie, L.H. Jiang and H. Shimizu: Journal of Arid Environment (accepted) “Changes of Holdridge life zone diversity in Xinjiang Uygur Autonomous Region (XUAR) of China over the past forty years”.
- ⑭ Y. Zheng, Z.X. Xie, Y. Gao, Y. Yu and H. Shimizu: South Africa Journal of Botany (accepted) “Influence of light, temperature and water stress on germination of *Hedysarum fruticosum*.”

< 学術誌 (査読なし) >

- ① G.Y. Qiu, H. Shimizu, K. Tobe and Y. Gao: Integration and Regional Researches to Combat Desertification, -Present Status and Future Prospect- The 16th Global Environment Tsukuba, (H. Shimizu, ed. pp.392) Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Japan (ISSN 1341-4356), 69-76 (2002,) “Plant as Desertification Indicators in Mu Us Sandy Land.”
- ② T. Miyazaki, A. Tsunekawa: Integration and Regional Researches to Combat Desertification, -Present Status and Future Prospect- The 16th Global Environment Tsukuba, (H. Shimizu, ed. pp.392) Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Japan (ISSN 1341-4356), 141-149 (2002) “Towards solving the desertification problem in western India – remote sensing and social investigation for desertification.”
- ③ H. Shimizu: Integration and Regional Researches to Combat Desertification, -Present Status and Future Prospect- The 16th Global Environment Tsukuba, (H. Shimizu, ed. pp.392) Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Japan (ISSN 1341-4356), 169-172 (2002) “Integration of Desertification Studies and Systematization of Diverse Technologies to Combat Desertification.”
- ④ A. Tsunekawa, H. Shimizu and T. Okayasu: Integration and Regional Researches to Combat Desertification, -Present Status and Future Prospect- The 16th Global Environment Tsukuba, (H. Shimizu, ed. pp.392) Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Japan (ISSN 1341-4356), 173-185 (2002) “Integrated Modeling Approach for Desertification Monitoring and Assessment.”
- ⑤ M. Fujimori, K. Yamada and H. Shimizu: Integration and Regional Researches to Combat Desertification, -Present Status and Future Prospect- The 16th Global Environment Tsukuba, (H. Shimizu, ed. pp.392) Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Japan (ISSN 1341-4356), 186-191 (2002) “Systematic Identification and

Categorization of Desertification/Land Degradation Control Technologies.”

- ⑥ Y. Gao, H. Shimizu, K. Tobe, G.Y. Qiu: Integration and Regional Researches to Combat Desertification, -Present Status and Future Prospect- The 16th Global Environment Tsukuba, (H. Shimizu, ed. pp.392) Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Japan (ISSN 1341-4356), 295-301 (2002) “Vegetation Indicators of Grazingland Desertification.”
- ⑦ K. Tobe, L. Zhang, X. Li, H. Shimizu and K. Omasa: Integration and Regional Researches to Combat Desertification, -Present Status and Future Prospect- The 16th Global Environment Tsukuba, (H. Shimizu, ed. pp.392) Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Japan (ISSN 1341-4356), 302-308 (2002) “Seed germination of Chinese desert plants distributed at locations differing in the degree of desertification.”
- ⑧ P. An, S. Inanaga and Y. Sugimoto: Integration and Regional Researches to Combat Desertification, -Present Status and Future Prospect- The 16th Global Environment Tsukuba, (H. Shimizu, ed. pp.392) Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Japan (ISSN 1341-4356), 309-316 (2002) “Effect of humidity elevation on soybean growth under saline and non-saline conditions.”
- ⑨ 飯島慈裕・篠田雅人：小スケール放射環境研究会講演論文集，第2号，1-8 (2002) 「中部山岳地域の放射環境の季節変化と冷気湖形成。」
- ⑩ P. An, S. Inanaga, X.J. Li, H. Shimizu and E. Tanimoto: Root Research, 12 (3): 125-132 (2003) “Root characteristics in salt tolerance.”

<書籍>

- ① 恒川篤史：「地球環境ハンドブック（第2版）」（不破敬一郎・森田昌敏編著），東京，朝倉書店。P. 694-700 (2002) 「砂漠化の現状。」
- ② 篠田雅人：「砂漠と気候」成山堂書店，169pp. (2002)

<報告書類等>

- ① M. Shinoda, M. Nemoto and K. Akshalov: Proceedings of the International Conference of Geographical Study of Central Asia and Mongolia, Ulaanbaatar, Mongolia, September 2002, 71-72 (2002) “Soil Moisture Observations, Analyses, and Modeling in Mongolia and Central Asia.”
- ② Y. Morinaga, S. Tian and M. Shinoda: Proceedings of the International Conference of Geographical Study of Central Asia and Mongolia, Ulaanbaatar, Mongolia, 6-11 September 2002, 54-55 (2002) “Mongolian Snow Anomaly and Atmospheric Circulation.”

(2) 口頭発表

- ① G.Y. Qiu, H. Shimizu, Y. Gao, K. Omasa and K. Tobe: 農業環境工学関連4学会2001年合同大会。つくば(2001年6月) “Estimation of Aerodynamic and Soil Resistances using Temperature Related Approach.”

- ② G.Y. Qiu, H. Shimizu, Y. Gao, K. Tobe and I. Lee: Desert Technology VI International Conference. Urumqi, China (September, 2001) “Principle of Sand Dune Fixation with Straw Checkerboard Technology.”
- ③ K. Tobe, H. Shimizu, X. Li, G.Y. Qiu and K. Omasa: Desert Technology VI International Conference. Urumqi, China (September, 2001) “Early Development of Four Plant Species Distributed in the Desert Regions of Central Asia under Salinity Condition.”
- ④ 戸部和夫、李 小明、清水英幸、大政謙次：農業環境工学関連 4 学会 2001 年合同大会。つくば (2001 年 6 月) 「*Kalidium caspicum* の幼根の伸長におよぼす異なる塩の影響。」
- ⑤ 戸部和夫、Zhang Liping、Li Xiaoming、清水英幸、大政謙次：日本植物学会第 65 回大会。東京 (2001 年 9 月) 「塩性環境下における種子発芽— Na^+ 、 Mg^{2+} および Ca^{2+} の相互作用について。」
- ⑥ H. Shimizu, G.Y. Qiu, Y. Gao : Task Group Meeting on Benchmarks and Indicators. Asian Regional Thematic Programme Network on Desertification Monitoring and Assessment (TPN1), Beijing, China (November, 2001) “Vegetation Indicators of Desertification.”
- ⑦ A. Tsunekawa, H. Shimizu : Task Group Meeting on Benchmarks and Indicators. Asian Regional Thematic Programme Network on Desertification Monitoring and Assessment (TPN1), Beijing, China (November, 2001) “Causal indicators system and desertification mapping based on biological productivity.”
- ⑧ 篠田雅人・山口叔史・植田宏昭：日本気象学会 2002 年度春季学術大会，さいたま (2002) 「気候メモリとしての陸面状態とモンスーン。」
- ⑨ 恒川篤史・篠田雅人・伊藤健彦・根本 学・飯島慈裕：第 11 回風送ダスト研究会，東京 (2002) 「アジアの新しい砂漠化地図と黄砂現象。」
- ⑩ 恒川篤史・篠田雅人：日本地理学会 2002 年度春季学術大会，金沢 (2002) 「砂漠化指標の開発 (1) —世界砂漠化評価の方法論—。」
- ⑪ 伊藤健彦・飯島慈裕・根本学・恒川篤史・篠田雅人：日本地理学会 2002 年度秋季学術大会，金沢 (2002) 「砂漠化指標の開発 (2) —アジア全域の砂漠化地図の作成—。」
- ⑫ 根本 学・篠田雅人・恒川篤史：日本地理学会 2002 年度秋季学術大会，金沢 (2002) 「砂漠化指標の開発 (3) —純一次生産力における水分ストレスの役割—。」
- ⑬ M. Shinoda, M. Nemoto and K. Akshalov: International Conference of Geographical Study of Central Asia and Mongolia, Ulaanbaatar, Mongolia. (2002) “Soil Moisture Observations, Analyses, and Modeling in Mongolia and Central Asia.”
- ⑭ Y. Morinaga, S. Tian and M. Shinoda: Proceedings of the International Conference of Geographical Study of Central Asia and Mongolia, Ulaanbaatar, Mongolia. (2002) “Mongolian Snow Anomaly and Atmospheric Circulation.”
- ⑮ P. An, S. Inanaga, H. Shimizu, H.M. Fadul, and M. Mars: Japan-China Joint Open Seminar on Combating Desertification and Development in Inland China. Yangling, China (November 2002) “Identification of plant indicators for assessment of desertification degrees.”

- ⑩ H. Shimizu: APN/START Global Change Research Awareness Raising Symposium in Northeast Asia. Vladivostok, Russia (October 2002) “Synthetic Studies on evaluation and monitoring of desertification.”
- ⑪ 飯島慈裕・河原木常男・K. Akshalov, 伊藤健彦・恒川篤史・篠田雅人：日本地理学会 2003 年度春季学術大会，東京 (2003) 「カザフステップにおける植物生長と気候環境の季節進行。」
- ⑫ P. An, S. Inanaga, H. Shimizu, K. El-Sidding, X. Li, Y. Zheng, T. Hibino, S. Morita and Y. Sugimoto: 6th International Symposium on Structure and Function of Roots. Stara Lesna, Slovakia (September 2003) “Ameliorating effect of calcium on radicle elongation of soybean under sodium stress.”
- ⑬ P. An, S. Inanaga, H. Li, K. Tian, J. Kunitomo and H. Shimizu: International Workshop on Combating Desertification and Controlling Sand/Dust Storms. Seoul, Korea (October 2003) “Lessons Learned From Pilot Projects for Rehabilitating Degraded Land in Hebei Province, China.”
- ⑭ H. Shimizu, A. Tsunekawa, T. Ohkuro, M. Shi, P. An, Y. Zheng, Y. Gao, Y. Yu, Y. Yu. and S. Inanaga: Japan-China Joint Open Seminar on Combating Desertification and Development in Inland China. Yangling, China (November 2003) “Synthetic studies on evaluation and monitoring of desertification.”
- ⑮ H. Shimizu: International symposium: Evaluation and monitoring of desertification – Synthetic activities for the contribution to UNCCD. Tsukuba, Japan (February, 2004) “Synthetic studies on evaluation and monitoring of desertification.”
- ⑯ G.Y. Qiu, P. Shi, L. Wang, Q. Zhang, Y. Gao, Q. Zheng and H. Shimizu: International symposium: Evaluation and monitoring of desertification – Synthetic activities for the contribution to UNCCD. Tsukuba, Japan (February, 2004) “Tendency of desertification in China during last 50 years.”
- ⑰ A. Tsunekawa, A. Mori, T. Ito, T. Suhama and H. Shimizu: International symposium: Evaluation and monitoring of desertification – Synthetic activities for the contribution to UNCCD. Tsukuba, Japan (February, 2004) “Assessment of vegetation degradation in drylands using net primary productivity (NPP) as a key indicator.”
- ⑱ M. Shi, Q. Zhang, T. Wang, T. Ohkuro and H. Shimizu: International symposium: Evaluation and monitoring of desertification – Synthetic activities for the contribution to UNCCD. Tsukuba, Japan (February, 2004) “Tradeoff, alternative technology and regulation on rangeland use.”
- ⑲ K. Abe, K. Kajii, A. Tsunekawa and H. Shimizu: International symposium: Evaluation and monitoring of desertification – Synthetic activities for the contribution to UNCCD. Tsukuba, Japan (February, 2004) “Study on Current Assessment Methods of Desertification.”
- ⑳ K. Abe, K. Kajii, A. Tsunekawa, and H. Shimizu: International symposium: Evaluation and monitoring of desertification – Synthetic activities for the contribution to UNCCD. Tsukuba, Japan (February, 2004) “Development of Methods to Assess Desertification by Administrative Unit.”
- ㉑ P. An, H. Shimizu, Y. Zheng, H. Sase, T. Totsuka and T. Bulgan: International symposium: Evaluation and monitoring of desertification – Synthetic activities for the contribution to UNCCD. Tsukuba, Japan (February, 2004) “Response of plants grown in semi-arid East Asia to SO₂ and O₃.”
- ㉒ B.P. Sah, T. Suhama, A. Tsunekawa and H. Shimizu: International symposium: Evaluation and monitoring of desertification – Synthetic activities for the contribution to UNCCD. Tsukuba, Japan

(February, 2004) “Long term time series estimation and comparison of potential and actual of net primary productivity (NPP) using Chikugo and CASA model.”

- ②9 M. Shi and K. Chen: International symposium: Evaluation and monitoring of desertification – Synthetic activities for the contribution to UNCCD. Tsukuba, Japan (February, 2004) “Land Degradation, Government Subsidy, and Smallholders’ Conservation Decision: the Case of the Loess Plateau in China.”
- ③0 K. Tobe, X. Li, L. L. Zhang, H. Shimizu and K. Omasa: International symposium: Evaluation and monitoring of desertification – Synthetic activities for the contribution to UNCCD. Tsukuba, Japan (February, 2004) “Effects of salt composition in saline soils on the initial growth of four plant species distributed in Chinese deserts.”

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

- ① 清水英幸：かんきょう, 28(2), 40-41 (2003) 「環境研究最前線・砂漠化指標による砂漠化の評価とモニタリングに関する総合的研究。」

10. 成果の政策的な寄与・貢献について

- ① UNCCD/CST の専門家グループの活動を支援する日本側組織、「砂漠化対処条約早期警戒体制小委員会(地球・人間環境フォーラム)」に清水が委員として参加し、本研究の成果の発信等を含め、委員会に寄与した。
- ② 2001年11月に北京で開催された UNCCD/TPN1 タスクグループ会合には、日本から清水と恒川が参加し、アジアの砂漠化指標と砂漠化の地図化について発表・討議した。
- ③ 2001年12月にソウルで開かれた日中韓環境大臣会合・第2回中国北西部生態系修復プロジェクト専門会合には、日本から清水と恒川等が砂漠化専門家として参加し、発表・討議した。
- ④ 2002年10月にウラジオストックで開催された第10回 TEACOM 会議および APN/START シンポジウムに清水が出席し、東アジア地域の砂漠化研究に関する発表と討議を行った。
- ⑤ 2003年10月に北京で開催された UNCCD/TPN1 総会(TPN1 Plenary Meeting on Benchmarks and Indicators Development and Mapping for Desertification Monitoring and Assessment)には、日本から環境省の松本課長補佐と共に、清水が参加し、砂漠化のモニタリングと評価における勧告案を討議、採択した。勧告案には本研究の成果を反映できた。本勧告は砂漠化対処条約にアジア地域からの成果として報告される。
- ⑥ 2004年2月2日に、国立環境研究所において、「国際シンポジウム：砂漠化の評価とモニタリング—砂漠化対処条約への貢献に向けて—」を開催した。同シンポジウムには、環境省地球環境局、砂漠化対処条約事務局、同科学技術委員会の専門家グループ委員をはじめ、多くの砂

漠化関係者が参加し、本研究課題の参画研究者も研究成果を発信し、また討論により研究の推進に努めた。その時の要旨集を参考資料として添付する。

- ⑦ 2004年2月3～5日には、アジア地域の砂漠化専門家会合(Meeting of Asian Region Members of Group of Experts, UNCCD)が開催され、清水と恒川が日本側関係者として正式に、また他のメンバーもオブザーバーとして参加し、“benchmarks and indicators”、“desertification monitoring and assessment”、“early warning systems for drought and desertification”に関して議論した。本会議の結果は砂漠化対処条約科学技術委員会に報告される。