

中国の乾燥地域における沙漠化と

土地・水利用の変化の相互作用に関する研究

*(Research on interaction between changes in land and water
management and desertification in dry region of China)*

ウ ル ル マ
烏 日 楽 瑪

2009 年

鳥取大学大学院連合農学研究科

生物環境科学専攻

配属：鳥取大学

目 次

第1章 緒 論	1
1.1. 研究背景	1
1.1.1. 土地の沙漠化—地球環境問題	1
1.1.2. 土地の沙漠化防止—国際会議の議論	1
1.1.3. 中国における沙漠化研究	3
1.1.4. 沙漠化防止の対策について	6
1.2. 研究の目的と課題	9
1.3. 本論文の構成	9
第2章 中国における沙漠化の進行	15
2.1. 概 説	18
2.2. 乾燥地における土地劣化と沙漠化および沙漠の分布	18
2.3. 中国における沙漠の種類概念	21
2.3.1. 荒 漠	24
2.3.2. 沙 漠	25
2.3.3. 沙 地	27
2.3.4. 荒 地	28
2.3.5. ゴ ビ	29
2.3.6. 沙 丘	30
2.4. 沙漠化のプロセスとメカニズム	31
2.4.1. 自然の影響	31
2.4.2. 人為的な影響	33
2.5. まとめ	41
第3章 中国・内モンゴル自治区バインタラ地域における 沙漠化の変遷について考察 —衛星画像データの解析による—	44
3.1. 概 説	44
3.2. 研究対象地域の概要と研究方法	45
3.2.1. 対象地域の概要	45
3.2.2. 研究方法	49
3.3. 結果と考察	53

第1章 緒 論

1.1. 研究背景

1.1.1. 土地の沙漠化—地球環境問題

今日の国際社会の中で、地球環境問題は人類が直面している緊急課題の一つとして大きくクローズアップされている。地球温暖化・オゾン層の破壊・地球気候の変化・酸性雨・生物種の絶滅・土地の沙漠化・森林の減少などの話題が頻繁に新聞やテレビのニュースなどで報じられている。

地球環境問題とは、「本質的に一国の取組みでは解決が不可能であり、その結果や影響がすぐに発生せず、将来（場合によっては数世代後の遠い将来）に生じるという特徴がある。したがって、将来世代の利益が犠牲になり、将来に「ツケ」が回される危険がある」（進藤，2000）と認識されている。対象とされる領域は「被害・影響が一国内にとどまらず国境を越え、ひいては地球規模にまでひろがる環境問題、あるいは先進国からの政府開発援助を含め国際的な取り組みが必要とされる発展途上国における環境問題」（櫻川，1993）である。

環境問題はこのような特徴を持つため、地球規模の問題として全人類共通の関心事であり、科学者だけではなく、政策決定者・企業・一般市民などあらゆる立場からも、看過できない問題となっている。

このような地球環境問題の一つとして、土地の沙漠化が注目されている。この土地の沙漠化問題は、地球環境問題の一般的特徴以外に次のような特徴を有する。他の地球環境問題の多くは、地球温暖化にみられるように、先進国の開発を主な原因とし、解決の可能性も大きいと考えられるが、土地の沙漠化の多くは発展途上国の人口増加や食糧難などの貧困問題を主な原因とし、解決が困難な場合が多い。したがって、発展途上国の人口・食糧問題を十分に考慮して問題解決の方策を考えなければならない。本研究では、地球環境問題の一つである土地の沙漠化（特に、農業と牧業混雑地域の沙漠化プロセスおよび灌漑農地の沙漠化の一典型である塩害集積）を対象として研究を進める。

1.1.2. 土地の沙漠化防止—国際会議の議論

沙漠化問題が、地球規模の環境問題として国際社会により取り上げられたのは、1970年代から

今日に至る約40年間である。この間、沙漠化防止に関するさまざまな国際会議が行われてきたが、その中でも歴史的な会議と位置付けられるものはストックホルム会議とリオ大会である。1972年6月5日～16日に、「かけがえのない地球」をスローガンにスウェーデンの首都ストックホルムで国連人間環境会議が開催された。それから5年後の1977年に、「土地の沙漠化防止」を議題として、最初の国連沙漠化防止会議がケニアのナイロビで開催された。

朱らの研究(1999)によると、そもそも「沙漠化」という言葉は1949年に、フランスの科学者Aubrevilleが熱帯林を研究対象として、熱帯林で伐採や焼き畑が行われた後に、熱帯林から熱帯草原を経て沙漠へと景観が変遷することを指摘し、そのプロセスを土地の「沙漠化」と名付け環境問題として提案した。その後「国連沙漠化防止会議」が「沙漠化」という名称を採用し、沙漠化を「土地の持つ生物生産能力の減退ないし破壊であり、終局的には沙漠のような状態をもたらす過程である」(朱・朱, 1999)と考えるもとになった。

国連沙漠化防止会議では「ストックホルム宣言の諸原則は1972年当時と同様に今日も有効であり、これらの原則は、将来にわたって環境に係る基本的な行動指針となる」(朱・朱, 1999)と宣言された。同時に、少数の人々の無秩序あるいは無計画な行為により、環境がますます悪化していくことが憂慮された。その上で、全地球的な環境保全を使命とする主要な国際的機関を強化するための支援を再確認し、人間の環境に関する権利と義務については、人間は尊厳と福祉を保つに足る環境で、自由、平等および十分な生活水準を享受する基本的権利を有すると同時に、現在および将来の世代のために環境を保護し改善する厳粛な責任を負う義務を有することが基本原則とされている。

さらに、ストックホルム会議で発展途上国が主張した貧困問題については、先進諸国は環境破壊を被っている発展途上国に対し国際援助をすべき立場にあり、最も深刻な環境問題に対して払われている国内的な努力を支援すべきである点が合意された。なお、環境被害の予防の概念は、既に発生した環境被害の修復に掛かる労力や費用など社会的損失の多さを重視することにより生まれた考えであり、予防措置は環境に影響を及ぼすすべての行為についての適切な計画が含まれなければならない点が認識された(進藤, 2000)。沙漠化防止について本格的に議論されたのは1992年6月にブラジルのリオ・デ・ジャネイロで開催された地球サミット会議である。この会議は世界的な沙漠化防止活動の開始となったのみならず、国連首脳が参加する国連史上最大規模の会議となった。そこで、合意されたものの中で最も重要なものが「リオ宣言」である。

「リオ宣言」は1972年6月の国連人間環境会議で採択されたストックホルム宣言を再確認するとともに、その達成を目指し、社会や市民の要となる分野と各国間のより高レベルでの協調の創造を明確にすることで、平等な地球規模の新たな協力関係の確立を目標とし、すべての権利を尊

重するとともに地球環境と発展システムの一体的保全への国際的な合意を追求し、人類の住まいである地球が不可分なものであり、相互に依存するものであることを再認識する点などを、主な内容とする27の原則からなる。したがって、土地の沙漠化防止もこの27の原則にもとづいて解決されることになったが、その後今日までの17年間の経過を見る限りでは思うように進展しておらず、目標達成の促進が切実な人類的課題となっている。

1.1.3. 中国における沙漠化研究

1. 中国における沙漠についての研究

中国の50%以上の国土が乾燥・半乾燥・乾燥半湿潤地域に属し、約20%の土地が沙漠化しているといわれている(王, 1983)。沙漠化の深刻さが世界的に注目されている中国では、沙漠化を対象とした総合研究および防止活動の始まりは1977年のナイロビ沙漠化防止会議の1978年からといわれているが、実際には沙漠環境にある地域では沙漠化防止活動はそれよりはるか昔から行われていた。

中国沙漠科学研究(王・趙, 2005)によると、約2200年前の中国西漢代には沙漠についての記録があったとされている。ただし、当時の文献に文字として記載されているのみで具体的な内容は未だに解っていない。近代の中国人が沙漠について考え始めたきっかけは海外の沙漠探検者らによる中国の沙漠旅行であった。探検は1829年のロシア人をはじめに、英国人、フランス人、ハンガリー人、アメリカ人そして日本人からなる団体であった(王・趙, 2005)。しかし、中国国内では1949年まで沙漠と沙漠化をテーマとした調査は行われていなかったために、砂防(中国語では防沙という、本論文では以後砂防という言葉を用いる)の仕事は非常に少なかった。1949年以後、水力・風力侵食による土地の劣化問題は、今後の国家建設における一つの重要な問題として取り上げられた(唐克麗等, 2003)ことにより、1950年代には沙漠についての問題が中国の各分野で取り上げられ、さまざまな分野の調査や統計資料の整理が行われた。ところが、各分野において沙漠の調査や統計資料に同一な基準が無かったため、1980年代までの中国の沙漠についてのデータはさまざまであり、同年代以前の沙漠について同一基準に基づくデータは未だに把握できていない(朱・朱, 1999)。1980年代初期になって、ようやく沙漠化防止の国際会議の精神に基づき、中国の沙漠化についての規範が作られた。

王ほか(1999)らの文献調査によると、1980年代以前の沙漠研究は主に、沙漠面積の統計や野外調査あるいは沙漠の形成と砂防についてが中心で、ストックホルム大会後の1978年が、沙漠か

ら沙漠化・沙漠化防止の研究に移り変わる変化点となった。しかし、沙漠の環境下で生活している人々は、沙漠化防止の認識や対策にもっと早くから取り組んでいた。沙漠地域であるホルチン沙地においては、1947年に実施された土地改革政策に、「農業と牧業混淆地域では、農業と牧業の発展に注目するとともに、貧困な農牧民生活を改善する方針で改革を行う。また、これらの地域においては牧業を主にして農業を発展させ、牧場を保全し、開墾を禁止する」（哲里木盟地方志編委會，1998）との方針がある。これは土地の劣化を防ぐ対策、すなわち沙漠化防止対策であると考えられる。

1980年代に、中国の乾燥・半乾燥・乾燥半湿潤地域における沙漠化についての研究が行われ始めてから約30年間になる。この間に沙漠化に関する研究もさらに正規的・規範的となり、研究方法・内容・分野や範囲などが変化してきた。その事例としてホルチン沙地と洛恵渠灌区における研究を例に挙げる。

2. ホルチン沙地における沙漠化研究

中国華北地域（内モンゴル東部）に位置するホルチン沙地は、世界の中でも沙漠化が最も深刻な地域の一つである（石ほか，2006）。また、ホルチン沙地は中国最大の沙地であり、その面積は約4.23万km²である。ホルチン沙地は半乾燥地域に属し、かつては広大な草原で世界に知られていたが、現代では、沙漠化が深刻な農業と牧業混淆地域であり、中国沙漠化研究の重要な拠点の一つである。そのため、中国国内外の研究者らによるホルチン沙地の沙漠化に関する研究報告は多い。

沙漠化研究は、最初に航空写真と野外調査の沙漠研究から始まった（王・哈，2004）といわれているが、その後の研究は具体的には次のような経過をたどった。30年前から、沙漠化原因の調査（王青，1996；大黒・根本，1997）が研究の中心になり、その後、沙漠化土地における実験・分析（大黒・根本，1997；趙ほか，2000；劉ほか，2003；李，2006）を駆使した沙漠化の要因解明に関する研究、さらに最近の10年間はリモートセンシング（中国では3Sともいわれる）技術を用いた衛星画像解析により、沙漠化の変遷・歴史を把握し、沙漠化要因を究明する研究が行われてきた。リモートセンシング技術を用いた土地利用変化（閻ほか，2001；呉ほか，2003；曹軍ほか，2004；趙・趙2004；梅栄・烏蘭図雅，2004；瀋ほか，2006）、土地利用変化の予測と土地利用効果を高める研究（擺・丁，2003；瀋ほか，2006）、景観変化に関する研究（今川，2000；周ほか，2001；閻ほか，2002；張・趙，2003；張ほか，2008）、モニタリング、メカニズム解明、影響評価、対策に関する研究等が行われてきた。

ホルチン沙地の沙漠化研究の内容は多様であり、自然要因による沙漠化寄与率（李ほか，2006）に関する研究，災害気象（何・黄，1994）に関する研究，沙地の土質（趙ほか，2006）に関する研究，土地利用の動態（閻ほか，2001）に関する研究，土地生産力（封ほか，2008）に関する研究，景観変化（趙・趙，2003；烏日樂瑪ほか2008）に関する研究，生態変化（于，2006）に関する研究，沙漠化防止対策（姚ほか，2002；）に関する研究，土地利用政策（厚，1992；沙日娜・陳，2004；董ほか，2008）に関する研究などさまざまな面から，ホルチン沙地における沙漠化研究の成果が報告されている。

3. 土地の塩類化についての研究

耕地の塩類集積は沙漠化の一形態であり，乾燥・半乾燥・乾燥半湿潤地域における深刻な環境問題（赤木，1990）である．特に乾燥地域における農耕地への不適切な灌漑による土壌の塩類化の進行は，年とともに増加しつつあるとみられ，世界各地に危機感をもたらしている（日本土壌肥料学会編，2000）．現在，世界の約 60 %の灌漑農地が乾燥地に分布し，そこでは今も土壌の塩類集積による沙漠化が進行し，年間 100 万 ha の農耕地の生産量が低下し，耕作放棄を余儀なくされている（根本，2007）．今日，世界の塩類化面積は 9.5 億 ha になり，そのうちの約 1 億 ha が中国（杜，2009）に分布しており，塩類集積による沙漠化問題は中国における深刻な環境問題となっている．現在，中国でも農地の塩類化研究に取り組み，海外の研究者と連携し，海外科学技術の援助を受け入れた国際的な研究プロジェクトが活発に行われている．以下，中国関中平原に分布する 9 地区の大規模灌区の一つである，洛惠渠灌区における塩類化に関する一連の研究を例として紹介する．

4. 洛惠渠灌区における塩類集積の研究

中国陝西省における洛惠渠灌区は総面積 7.5 万 ha を有し，そのうち，灌漑面積は 5.2 万 ha である．本灌区は灌漑システムの運用開始から現在まで約 60 年間の歴史があり，その間，塩類集積問題に直面し，未だに本格的な解決には至っていない．21 世紀の初めから，本灌区では，乾燥地の沙漠化防止に関する日中共同研究プロジェクトの一部として，塩類集積の原因を明らかにするための研究が今日まで行われており，多くの研究論文が報告されている．

地下水の分布・水質特性（長町ほか，2007；福本ほか，2008），地下水挙動による塩類集積・灌漑の影響（小谷，2004；長町，2008），地下水塩動態の特徴（張，2007），塩類集積防止対策（北

村・楊, 2008), 灌区塩分動態と健康評価 (杜, 2009) などであり, また, 灌区土壌の劣化に関する研究 (山本・遠藤, 2008) も取り組まれている。

1.1.4. 沙漠化防止の対策について

1. 世界沙漠化防止対策の取り組み

沙漠化防止の国際的な取り組みは, サハラ沙漠拡大の脅威が認識され始めたことによって, 1938年に行われた英仏の合同調査団の調査活動が最初である。その30年後の1968年から1971年までのアフリカの大干ばつ (吉川ほか, 2004) により, 環境問題の国際的な会議 (ストックホルム会議) が開催され, 沙漠化は地球環境問題の一つとして世界的に取り上げられた。その後, 1977年にケニアの首都ナイロビにて開催された沙漠化防止国際会議において, 沙漠化という用語が世界的な用語として採用されたが, 沙漠化対処の国際的枠組みが本格的に具体化したのは, 1992年にブラジル・リオデジャネイロで開催された地球サミット会議からである。会議においては, 沙漠化対処条約の必要性が強く指摘され, 21世紀に向けた行動の方針も示された (北村, 2000)。その後, 世界諸国が積極的に沙漠化防止に取り組み始めた。特に, 沙漠化の深刻な国家・地域においては適切な沙漠化防止の国家方針が策定された。

2. 中国における沙漠化防止の対策

中国における「沙漠化防止」という意味で正式に採用され, 取り組まれたのは1977年のナビロビ国際会議後である。中国政府では, これまで乾燥・半乾燥・乾燥半湿潤地域における砂防を, 重要な問題として扱っていた。しかし, 正式に一つのプロジェクトとして取り上げられたのは1990年代からである。

それ以前には, 沙漠や沙漠化地域およびその恐れがある地域だけにおける政策として, さまざまなやり方で沙漠化防止の対策が行われてきた。さらに, 現在実施されている沙漠化防止対策の一つである「山地における伐採の禁止」法令は今から約3000年前の西周 (新暦前1066年 ~ 前771年) や秦朝 (新暦前221年 ~ 前206年) の時期に正式に公布された (唐等, 2004)。その法令の内容は「森林により土壌流亡を抑制する (当時は中国語で「沙漠固定論」といい, 現在の砂防論と同義) というものである。沙漠化した土地の回復対策の一つである塩類集積農地で行われた流水客土は今から2000年前の秦朝からであり, 陝西省で行われていた (唐等, 2004)。

しかし, 中華人民共和国の成立までに, 国家として統一した法令がなかったうえ, 沙漠化とい

う言葉もなかった。

中国政府は「砂防」すなわち沙漠化防止を、特に中華人民共和国の成立後に実施し、プロジェクトとして行ってきた。朱ら（Zhu et al., 1999）の研究によると、1949年に河北省北西地域における砂防と固沙（沙漠化防止と沙丘固定）のプロジェクトが開始され、引き続き全国に「沙漠化防止プロジェクト」、「沙漠化対処プロジェクト」、「沙漠地域開発プロジェクト」の計画が立てられ、実施されてきた。なお、中国における沙漠の状況や沙漠化の程度は、地域によってそれぞれ異なる場合があるため、「地域にとって適切な沙漠化防止の政策や対策」が実施された。以下、ホルチン沙地における沙漠化対策を例として挙げる。

ホルチン沙地における沙漠化防止対策は1949年から、植生を回復するために劣化した土地・牧場の鉄柵（中国では最初に草庫輪という）による包囲、家畜飼育の伝統的放牧から畜舎飼育あるいは半畜舎飼育（禁放牧あるいは禁半放牧）への変換、退耕還林還草の実施、人工草の栽培、生態移民など、次々と沙漠化対処を実施してきた。また、土地の保護として防風林、保護林、自然保護区などの構築と、土壌改良のために流水客土などの事業が行われてきた。以下はその対策について具体的な内容を述べる。

鉄柵（草庫輪）：石などで囲まれた牧草地帯、すなわち牧場である。また、石やワラあるいは堤防（土手）を作って牧草を守る柵を指す。本格的な沙漠地域では石材がなく、石材の使用はコスト高となるため、代わりに灌木や樹木の枝が使用される。最近、国の補助を受けて、鉄柵を用いる様になり、「草庫輪」という名称から「鉄柵」になった。いずれにしろ沙漠化防止が目的である。

草方格：流動沙丘における春季の強風に沙が飛ばされないように、麦藁などの作物残渣を用いて作られる1 m×1 mのメッシュであり、高さは地面より約20 cm（地下に30 cmを埋める）で、格子状に設置する。

伝統的な放牧：中華人民共和国建国の頃には、牧業地区における家畜の飼育は遊牧と定住放牧の2種類があったが、現在では、畜舎飼育と半畜舎飼育が推薦されている。この変化は沙漠化を抑制するため、沙漠化を誘引するといわれている放牧を制限することに意味がある。

畜舎飼育（禁放牧）：家畜を年中畜舎で飼育することである。これは中国乾燥地域における過放牧の要因としての沙漠化を抑制し、また、表土の植生を回復する方法として認められている。

半畜舎飼育：風の強い春季と牧草の生長時季に放牧を行わず、家畜を畜舎で飼育し、牧草が豊富な時季に放牧を行うことである。過放牧により沙漠化が進行している地域において、牧業を放棄することは不可能であり、かつ放牧を継続することも持続的な発展ではないという認識の中で、実施されている政策である。

退耕還林還草：環境の劣化が進む地域での農業生産を止めて（退耕）、山地の利用を制限しながら

ら、土地を本来の森林や草地に戻す（還林還草）ものである（吉川ほか，2004）。「退耕還林還草」政策とは、主に長江と黄河の流域において、表土流出が深刻な傾斜角 25 度を越える急傾斜地，沙漠化・アルカリ化・石漠化が深刻な地域において、耕地を林地あるいは草地に転換し、表土侵食を防止し、多雨地域では洪水災害を軽減し、乾燥地では沙漠化の進行を食い止めようというものであり、沙漠化進行地域では「還草」が奨励されている（小長谷ほか，2007）。

人工播種草：沙漠地域あるいは植生被覆率の少ない地域において春季の降雨後に、草を播種することである。これは植生被覆率を上昇させるとともに、表土を守り、沙漠化を抑制する効果があると認められている。

生態移民：生態を保護するために行われる移住行為やその行為の結果として生まれた人々（移民）のことを指す（小長谷ほか，2007）。しかし、今の中国における移民は、環境の悪化により地域の人々が生活を維持することが困難とみられた住民を別地へ移動させることである。

防風林：強風を防いで風害を軽減する目的で設置・造成された人工林を指す。防風林は風速を緩和することにより、農作物の生育障害を軽減するとともに、耕地からの土壌の飛散を防いでいる（日本科学者会議編日本環境学会協力，2008）。

保護林：森林を保護するための区域のことである。現代学術用語でいえば保護林とは森林生態系保護地域，森林生物遺伝資源保存林，特定動物生息地保護林，特定地理等保護林を指す（日本科学者会議編日本環境学会協力，2008）。

自然保護区：自然保護には、プリザベーション、プロテクション、コンサベーションの概念がある。プリザベーション（保存的自然保護）とは人間が保存対象にいつさい手を加えないで、自然のままにすることをいう。たとえ、病虫害や台風、地震などの自然現象で現状が大きく改変しても、そのままにしておく。プロテクション（防衛的自然保護）とは人為を加えてでも、現状の自然状況を維持することをいう。たとえ、自然現象で変化しても、人為を加えて復元する。また、人為による改変に対しても現状を復元しようとする。コンサベーション（保全的自然保護）とは、人間がその自然を利用しつつ、その自然を残そうということである（日本科学者会議編日本環境学会協力，2008）。

流水客土：中国語では「淤泥灌溉」といい日本語の泥水灌溉の意味である。流水客土とは塩類濃度が比較的lowく土砂含量の多い増水期の水を、あらかじめ堤防で囲んだ塩類集積農地に引き入れ、時間をかけて浸透させ、かつ浮遊土砂を沈殿させることにより、リーチングと客土を同時に行う効果が得られ、塩類集積農地の改良が可能となる。

なお、砂防ネットという沙漠化防止の新しい対策があるが、甘粛省敦煌周辺以外では広く普及していない。

1.2. 研究の目的と課題

人口や食糧、地球環境などのグローバルイシューズは前述したように地球全体に関わる問題で、特定の国や地域に限定される国内・地域の問題とは異なり、複雑で大きな問題である。原因が多く、多くの国にあり、多くの原因がからみ合っているため、解明と解決が困難になりやすい。影響は広汎で取返しのつかない深刻なものもある。これらの問題を解決するには、国家の対策のみでは不十分であり、国際合意にもとづく国際的対策が必要である。しかしながら、国際合意を得ることは困難な場合が多く、地球温暖化対策にみられるように各国の国益優先の考え方が国際合意を妨げやすい。

このようなグローバルイシューズの根本原因と国際社会の援助・協力の必要性についての議論は、1972年の国連人間環境会議以来今日まで、40年近く続けられている。この間、1992年の地球サミットで合意形成が進むかにみえた国際社会は、その後、紛争や経済混乱などで、地球レベルの環境や資源問題の取組みを停滞あるいは後退させた。沙漠化防止の国際的議論と取組みも同様である。このような科学的根拠が不十分で合意形成が困難な問題を解決するには、科学的解明と民主的な合意形成の努力が重要である。

事例は、内モンゴル自治区バインタラ地域の土地の沙漠化と陝西省洛恵渠灌区における塩類集積であり、取りあげた理由は次のとおりである。

①バインタラ地域は伝統的に農業と牧業が混淆的に行われている地域の一つであり、中国の農業と牧業に対する政策や土地利用法などの試験地域にもなっているためである。

②洛恵渠灌区は灌漑面積が広く、古い灌漑の歴史を持つものの、本格的な灌漑農業が展開されたのが中華人民共和国成立の頃からであり、半乾燥地域にあって塩類集積に悩む典型的な灌漑地区であるためである。

1.3. 本論文の構成

本論文で5つの章を設けている。各章の概要は以下のようなものである。

第1章は緒論であり、本研究の背景、目的と課題、論文の構成について述べる。

第2章では、中国における沙漠化の進行について概要・分布・分類および沙漠化のメカニズムなどを文献により考察し、本研究の位置づけを明らかにした。

第3章では、自然環境が非常に脆弱な地域である中国内モンゴル自治区バインタラ地域を対象に、沙漠化の変遷を衛星画像の解析から推定し、沙漠化の影響要因と考えられる、水文・気象、

地理、灌漑農業、放牧、土地利用政策に関する資料を収集・分析し、それらの因果関係を定性的に明らかにした。

第4章では、中国・陝西省洛惠渠灌区における1950年から1990年の間に行われた灌漑排水事業や塩類化対策、社会経済状況の変化、地下水位の変動が農地の塩類化に与えた影響について分析を行った。その結果、個々の塩類化対策により一定の効果が得られたが、その効果をより一層高めるためには個々の対策を有機的に連携させて行うことが必要であることを明らかにしている。

第5章では、各章で得られた結果を取りまとめて、乾燥地で深刻な沙漠化プロセスの要因を明らかにし、沙漠化対処に資する本論文のもつ意義を示した。

引用文献・主要参考文献：

1. 赤木祥彦 (1990) : 「沙漠・の自然と生活」, 地人書房.
2. 擺万崎・丁賢忠 (2003) : 「内蒙古自治区奈曼土地利用變化予測研究」, 資源科学 25 (2) : 73 - 76.
3. 曹軍・吳紹洪・楊勤業 (2004) : 「基于沙化狀況和适宜性的土地利用結構調整」, 農業工程學報 20 (5) : 281 - 285.
4. 董永義・宮永梅・郭園 (2008) : 「內蒙古科爾沁沙地腹地 G304 国道兩側沙漠化生態修復措施」, 安徽農業科學 36 (1) 194 - 196.
5. 杜中 (2009) : 「洛惠渠灌區水鹽示踪及灌區健康評估」, 西安理工大學碩士學位論文.
6. 封建民・李曉華・孟艷 (2008) : 「沙漠化對土地生產力的影響—以通遼市為例」, 安農業科學 36 (9).
7. 福本群・北村義信・清水克之・烏日樂瑪 (2008) : 灌漑が地下水挙動に及ぼす影響の評価に関する研究, 農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 928 - 929 , 8月, 札幌.
8. 何宗穎・黃學文 (1994) : 「內蒙古奈曼旗土地沙漠化及災害性天氣與農業生產的關係」, 干旱區資源與環境 8 (3).
9. 厚福興 (1992) : 「內蒙古奈曼旗沙地草場植被退化及其防止途徑」, 中國沙漠 12 (2) : 64 - 67.
10. 今川俊明・大黒俊哉・白戸康人・谷山一郎・藤原英司・石敏 俊 (2000) : 中國內蒙古自治區奈曼旗における放牧区の推定と砂漠化防止対策効果, 「地球環境」5 (1,2 合併号) : 3 - 8.
11. 姜冬梅・宋豫秦・楊勇 (1999) : 「中國北方半干旱農牧交錯帶小區域人地關係演變模式初探, 一以內蒙古奈曼旗堯勒甸子村為例」, 地域研究與開發 18 (3) : 33 - 37.
12. 小谷和也 (2004) : 「中國・洛惠渠灌區における地下水挙動と塩類集積について」, 鳥取大學農学部水利用分野の卒論.
13. 小長谷有紀・シンジルト・中尾正義 (2007) : 『地球研究書, 中國の環境政策生態移民, 緑の大地, 內蒙古の沙漠化を防げるか?』, 昭和堂 : 77 - 99.
14. 北村義信 (2000) : 「乾燥地における共同研究の概要」, 『世紀を拓く砂丘研究』『砂丘から世界の沙漠へ, 日本砂丘学会』. 財団法人農林統計協会 : .
15. 北村義信・楊勝利 (2008) : 二次的塩類集積の防止に向けて. 『山中典和編 : 乾燥地科学シリーズ 5 黄土高原の砂漠化とその対策』, 古今書院 : 166 - 178.
16. 李振山・賀麗敏・王濤 (2006) : 「現代草地沙漠化中自然因素貢獻率的確定方法」, 中國沙漠 26 (5) : 687 - 692.
17. 劉輝志・洪銅祥・張宏昇・陳家宜・胡非・陳紅岩 (2003) : 「內蒙古奈曼流動沙丘下墊面湍流

- 輸送特徴初步研究」, 大気科学 27 (3) 389 - 398.
18. 李玉強・趙哈林・趙學勇・張銅會・移小勇 (2006): 「土壤溫度和水分不同類型沙丘土呼吸的影響」, 干旱区資源与環境 20 (3): 154 - 158.
 19. 梅榮・烏蘭函雅 (2004): 「基于遙感, GIS 的旗區域土地利用變化研究, 一以內蒙古奈曼旗為例」, 干旱区資源与環境 18 (6): 82 - 84.
 20. 長町博之 (2008): 「中国・洛惠渠灌区における地下水挙動と灌漑の影響」, 鳥取大学大学院農学研究科修士論文.
 21. 長町博之・福本群・北村義信・清水克之・烏日樂瑪・ソロモン ハプトウ・李占武 (2007): 中国・洛惠渠灌区における地下水分布と水質特性としての適性, 平成 19 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集: 372 - 373, 8 月, 島根.
 22. 日本土壤肥料学会編 (2000): 『塩集積土壤と農業』, 博友社.
 23. 日本科学者会議・日本環境学会協力 (2008): 『(環境事典, 日本科学者会議, 日本環境学会協力), 旬報者』, 447・926・928.
 24. 根本正之 (2007): 『砂漠化ってなんだろう』, 岩波ジュニア新書.
 25. 大黒俊哉・根本正之 (1997): 「中国北東部半乾燥地域の砂地草原における放牧管理による植生・土壤の回復過程」, 日本造園学会詩ランドスケープ研究抜刷 60(5): 495 - 500.
 26. 瀋培平・岳輝杰・王静愛・呂紅峰・易湘生 (2006): 「基于生态安全条件的沙区土地结构优化与高效利用, ——以科尔沁沙地为例」, 干旱区研究 23 (3): 433 - 437.
 27. 櫻川命巧 (1993): 地球環境問題をめぐる国会対応, 『臼井久和・綿貫礼子編, 地球環境と安全保障』, 八木美知夫.
 28. 沙日娜・陳立平 (2004): 「內蒙古奈曼旗生態環境現狀与治理对策」, 干旱区資源与環境 18 (9): 54 - 57.
 29. 自然資源学報 21 (3).
 30. 進藤雄介 (2000): 『地球環境問題』, 時事通信社 (大日本印刷株式会社).
 31. 唐克麗等 (2003): 国家自然科学基金委員會資助出版, 中国科学院科学出版基金資助出版, 『中国水土保持』, 科学出版社: 388 - 392.
 32. 王蕾・哈斯 (2004): 「科爾沁沙地沙漠化研究進展」, 自然災害学報 13 (4).
 33. 王謙 (1983): 「中国乾燥, 半乾燥地区的分布及其主要氣候特徵」, 「乾燥地区農業研究」 16 (4).
 34. 王青 (1996): 「吉林省西部地区遼金時期的沙漠考古, 一科爾沁沙地沙漠考古之二一」, 北方文物 46 (2): 44 - 49.
 35. 王涛・趙哈林 (2005): 「中国沙漠科学的五十年」, 中国沙漠 25 (2): 145 - 165.

36. 王涛・趙哈林・肖洪浪 (1999) : 「中国沙漠化研究的進展」, 中国沙漠 19 (4) : 299 - 311.
37. 烏日樂瑪・湯谷享泰・長澤良太・北村義信・清水克之(2008) : 時系列衛星データを用いた中国内蒙古バヤンタラ地域における植被率変動の解析, 平成 20 年度, 日本沙漠学会大会要旨 : 22 - 23, 5 月, 岡山.
38. 吳薇・倪晋仁・劉栄霞・李振山 (2003) : 「基于土地利用结构变化的沙漠化动态评估, —以内蒙古自治区奈曼旗为例」, 北京大学学报資源科学版 39 (4) : 481 - 487.
39. 山本定博・遠藤常嘉 (2008) : 「二次的塩類集積防止のための土壤管理」. 『山中典和編 : 乾燥地科学シリーズ 5 黄土高原の砂漠化とその対策』古今書院 : 178 - 186.
40. 吉川 賢・山中典和・大手信人 (2004) : 乾燥地の自然環境. 『乾燥地の自然と緑化—砂漠化地域の生態系修復に向けて—』, 共立出版, 192.
41. 閻徳仁・姚洪林・楊文斌・劉永軍 (2002) : 「奈曼旗沙漠化土地景觀動態過程研究」, 内モン古林業科術 3 : 28 - 31.
42. 閻徳仁・劉永軍・余偉菘 (2001) : 「奈曼旗沙漠化土地動態变化研究」, 内モン古環境保護 13 (3) : 20 - 22.
43. 于艶華 (2006) : 「基于退耕還林還草的科爾沁沙地土地利用变化生態效应研究, —以通遼市奈曼旗為例」, 内モン古師範大学, 修士論文.
44. 趙杰・趙士洞 (2004) : 「利用 PRA 方法研究小尺度区域土地利用变化, —以科爾沁沙地堯勒甸子村為例」, 地域研究与開發 23 (1) : 73 - 76.
45. 趙杰・趙士洞 (2004) : 「基于 RS, GIS 的奈曼旗土地覆盖/利用变化研究」, 干旱区地路 27 (3) : 414 - 418.
46. 張統平・常学祝・李健英・蔡明玉 (2008) : 「基于 3S 的农牧交错区耕地动态变化研究——以内蒙古奈曼旗为例」, 干旱区資源与環境 22 (5) : 613 - 620.
47. 張永眠・趙士洞 (2003) : 「生态保护背景下奈曼旗土地利用与景观格局变化」, 資源科学 25 (6) : 43 - 51.
48. 張霞 (2007) : 「洛惠渠灌区地下水塩動態变化規律研究」, 陝西人民出版社.
49. 趙学勇・張銅会・常学祝 (2000) : 「内モン古奈曼旗中部沙地土壤剖面特徵」, 中国沙漠 20 (増刊) : 45 - 47.
50. 趙学勇・左小安・趙哈林・張銅会・李玉強・移小勇 (2006) : 「科爾沁不同類型沙地土壤水分在降水后的空間變異特徵」, 干旱区地理 29 (2).
51. 哲里木盟地方志編委会 (1998) : 『哲里木盟志』, 方志出版社 : 131.
52. 朱俊風・朱震達など (1999) : 『中国沙漠化防治』, 中国林業出版社.

53. 周瑞蓮·趙哈林·王海鷗 (2001) :「科爾沁沙地植物演替的生理機制」, 干旱区研究 18 (3).

第2章 中国における沙漠化の進行

近年の生態環境の悪化は、世界的に認知された人類共通の課題であり、また、その中の一つである土地の沙漠化問題は乾燥・半乾燥・乾燥半湿潤地域における最も深刻な環境問題である。

沙漠化は地球環境問題であると同時に、社会・経済問題でもあり、乾燥地の持続可能な発展を妨げる最大の制約要因である（北村，2000）。沙漠化の対象となる地域である乾燥・半乾燥・乾燥半湿潤地域においては、世界中で毎年7万 km²の速度で沙漠化面積が拡大しており、世界人口の14%に相当する約9億人が直接沙漠化に脅かされながら、生活を送っている。沙漠化対象地域の約2/3、すなわち世界の全陸地の1/4（約3.6×10⁹ hm²）の土地が沙漠化に脅かされており、100以上の国と地域（図2-1）に深刻な影響をもたらしているとともに、土地の沙漠化は地球レベルで進行つつある（Zhu et al., 1999）。最近の中国林業局の発表（中国平論新聞，2006）によれば、中国における沙漠化の影響を受ける人口は約4億人に至り、沙漠化面積は173.87万 km²となり、国土面積の18.2%を占める。この沙漠化面積は、1996年国連荒漠化防止サミット会議に報告された中国沙漠化面積262.2万 km²と比較すると減少しているものの、依然として土地の沙漠化は深刻である（表2-1）。

表2-1 中国における沙漠化の面積の推移（Zhu et al., 1999）

Era	Increased Area (km ² /y)
1950 ~ 1970	1,560
1970 ~ 1980	2,100
1980 ~ 1990	2,460

中国では、沙漠化を荒漠化と称することがよくみられるが、実際には沙漠化と荒漠化には根本的な区別がある。荒漠化は乾燥・半乾燥・乾燥半湿潤地域における、気候の変動と人間活動を含むさまざまな要因による土地の劣化である（趙・趙，2001）。沙漠化は、元来沙漠でなかったところが過度な人間活動により、脆弱な地表（沙が露出）で風食が活発になり、沙質の荒涼とした環境を形成するような土地の劣化を指す（朱・朱，1999）。また、沙漠化は人為的影響によって生じた土地の荒廃や植生の退行現象である（堀・菊地，2007）。沙漠化は、土地の持つ生物生産力の減退あるいは破壊が起こり、終局的には沙漠のような状態をもたらすことである（根本，2007）。し

たがって、沙漠化は荒漠化の一種であり、「沙質荒漠化」の略称である。土地が沙漠化すれば、もともと経済的生産が可能であった土地が生態学的な悪化の過程で土地の生産力が落ち、極端な場合には沙漠のような景観を呈し、そこに依存して発展して来た社会が成り立たなくなる。本章では、中国における沙漠化の形態について詳述する。なお、本論文では、「砂」の文字をすべて「沙」偏の「沙」と同義として「沙」を統一的に使用する。

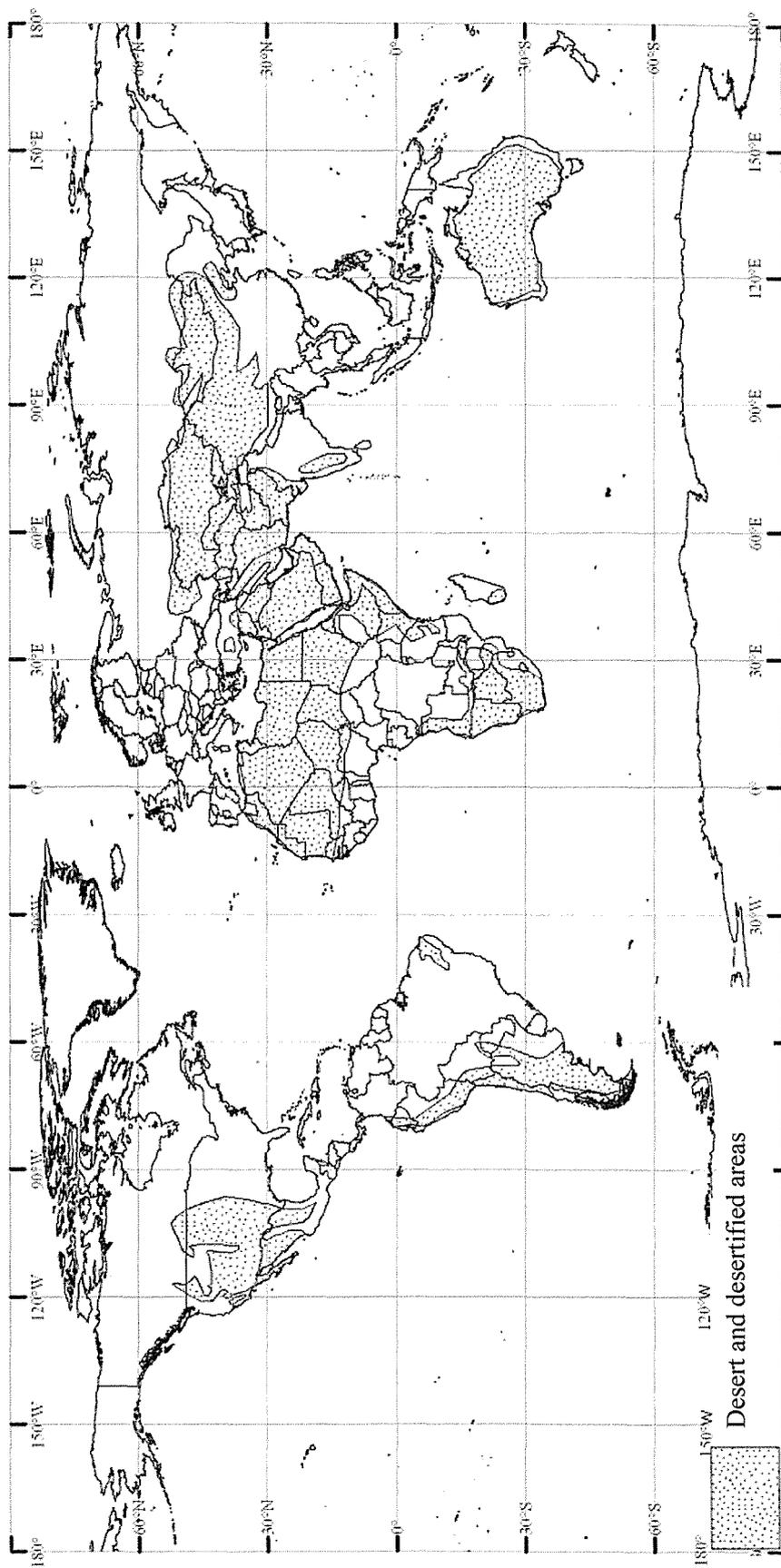


図 2 - 1 世界の沙漠および沙漠化の分布 (赤木, 2005 年より改編)

2.1. 概 説

深刻な沙漠化問題を解決するため、従来より問題の解明や政策的努力がなされてきたが、その成果は不十分で多くの課題が残されている。問題の解明では、沙漠・沙漠化の分布や原因あるいはそのメカニズムについての分析が課題となっている。本章ではこの課題の解明を行う。

2.2. 乾燥地における土地劣化と沙漠化および沙漠の分布

乾燥地は、草木が全く生育していない沙漠のような景観のところばかりではなく、乾燥気候に属する地域も含む。乾燥気候は、降水として供給される水量よりも蒸発や蒸散によって大気に戻る水量のほうが多い気候（吉川ほか，2004）と定義される。地球の総陸地面積 153 億 ha のうち、61 億 ha（約 40%）を占め（山本，2008）、その共通的特徴として降水量が少なく、変化が激しく、気温の日格差と年格差が大きく、可能蒸発散量は降水量をはるかに上回る。さらに、砂埃が多く、雲量が少なく、日照が強い。植生の生長が不十分であるのは乾燥地の水分が不足しているためであるが、十分な熱量（日照）があるので灌漑と施肥を適切に行えば収穫の多い地区とすることができる。

土地の劣化の具体的な現象として、樹木・草の減少と消滅、乾生植物の侵入、土壌の減少と消滅、土壌の固化、観光客などによる地表面の破壊、砂の移動と堆積、ダストストーム、塩類集積、ウォーターロギング（Waterlogging）などが挙げられる。

土壌の劣化とは、土壌の構造が変化し、養分のバランスが失われ、土壌の有機物の分解によりバイオマスが消失していくことを示す。すなわち、土壌干ばつ、土壌侵食、土壌の固化などの物理的変化、土壌の塩類化およびアルカリ化などの化学的変化、土壌圏の生物活動の低下による土壌攪乱作用の停止などの生物的变化である。これらの劣化過程は、一般には単独で現れることは少なく、複合してみられることが多い。このような土壌劣化に関わる因子には、自然因子と人為因子がある。自然因子は、土壌の深さ、土質、土壌を構成する粘土鉱物の種類等を通して土壌劣化の潜在的な危険性を規定しているのに対して、人為因子は耕耘方法、輪作体系、侵食対策の有無、あるいは土地の制度や法律、慣習などを通して直接的に土壌の劣化を規定している（赤木，2005）。世界の乾燥地における土壌（土地）劣化は、風食（2 種類）、水食（3 種類）、化学的劣化（4 種類）および物理的劣化（3 種類）の 12 タイプから構成され、土壌劣化の全面積は 19.6 億 ha（山本ほか，2008）である。土壌の劣化は沙漠化をもたらす原因になっている。1996 年 12 月に発

効した「沙漠化対処条約」の第1条では「沙漠化とは乾燥地域もしくは半乾燥地域、および乾燥半湿潤地域における気候上の変動や人間活動を含むさまざまな要素に起因する土地の劣化」と規定している。なお、沙漠化対処条約では、乾燥・半乾燥・乾燥半湿潤地域を乾燥度指数 (AI: aridity index) により、次のように定義している。

乾燥地域 : $AI=0.05 \sim 0.20$

半乾燥地域 : $AI=0.20 \sim 0.50$

乾燥半湿潤地域 : $AI=0.50 \sim 0.65$

ここで、乾燥度指数 AI は平均降水量 (P) と可能蒸発散量 (PET) との比 (P/PET) によって求まる (Arnold, 1992; Middleton and Thomas, 1997)。

可能蒸発散量は蒸発散位ともいい、植生で一様に覆われた地表面での十分な水供給がある場合に、ある与えられた気候条件下で可能な仮想的最大蒸発散量のことをいう (北村, 2009)。これらを一言でいうと沙漠化とは土地の劣化であり、沙漠化の要因は気候と人間活動である。沙漠化の程度はその進行状況により、軽度・中度・強度 (重度) に分けられる。中国の乾燥・半乾燥・乾燥半湿潤地域における風食による土地沙漠化基準は表 2-2 に示すとおりである (Zhu et al., 1999)。

表 2□2 中国における沙漠化の進行程度判定基準 (Zhu et al., 1999)

Class	Desertification			Ratio of biomass decrease to that before desertification (%)	Remarks on landscape
	Ratio of area (%)	Ratio of increase (%)	Ratio of vegetation cover (%)		
Light	0~10	0.26~1.0	31~50	~30	fixed sand dune partially moving
moderate	11~30	1.1~2.0	11~30	31~50	fixed sand dune moving
heavy (serious)	31~	2.1~	~10	51~	not fixed sand dune wind erosion

2.3. 中国における沙漠の種類概念

中国は世界の中でも沙漠の面積が多い国であり、現在の中国における沙漠面積は約 130 万 km² で、国土の約 13 % (<http://zhidao.baidu.com/question/92795860.html>) を占め、主に長城以北に分布している。その中で面積が比較的大きなものは 12 沙漠（表 2 - 3, 図 2 - 2）である。

表 2-3 にみられるように、中国における沙漠の意の表現の仕方は多種多様で、主に使用されているのは荒漠、沙漠、荒地、沙地、ゴビと沙丘などである。

荒漠のうち石質、礫質のものはゴビ、沙質のものは沙漠である。各呼び方にはそれぞれ固有の意味がある。これらは乾燥地区に属し、植生の成立の困難さはもっぱらその乾燥した気候に求められる成帯的なものである（治沙造林学編委員会, 1984）。非成帯的なもので、半乾燥地域に属するのは沙地である（内蒙古沙漠開発研究会, 1989）。次にそれらの意味を簡単に説明する。

表 2 - 3 中国の荒漠における主要な沙漠と沙地の名称・面積・所属地 (省・自治区)

Numev	Name	Area(10 ⁴ km ²)	Location(Province)
1	Takla Mokan Desert Taklamakan Desert Taklamakan Sha-mo	33.76	Xinjiang(Sinkiang)
2	Gurbantunggut Sha-mo	4.88	"
3	Kumu-tak' o Sha-mo	2.28	Xinjiang(Sinkiang)・Gansu
4	Chaidamu Sha-mo	3.49	Qinghai
5	Badain Jaran Sha-mo	4.43	Nei Mongol
6	Tenger Sha-mo T' eng-ko-li Sha-mo	4.27	"
7	Wu-lan-pu-ho Sha-mo	0.99	"
8	Kubuqi Sha-mo	1.61	"
9	Mu Us Sands	3.21	"
10	Hunshandaku Sand	2.14	"
11	Korqin Sand	4.23	"
12	Hulunboro Sand	0.72	"

(<http://zhidao.baidu.com/question/35300152.html> を参考)

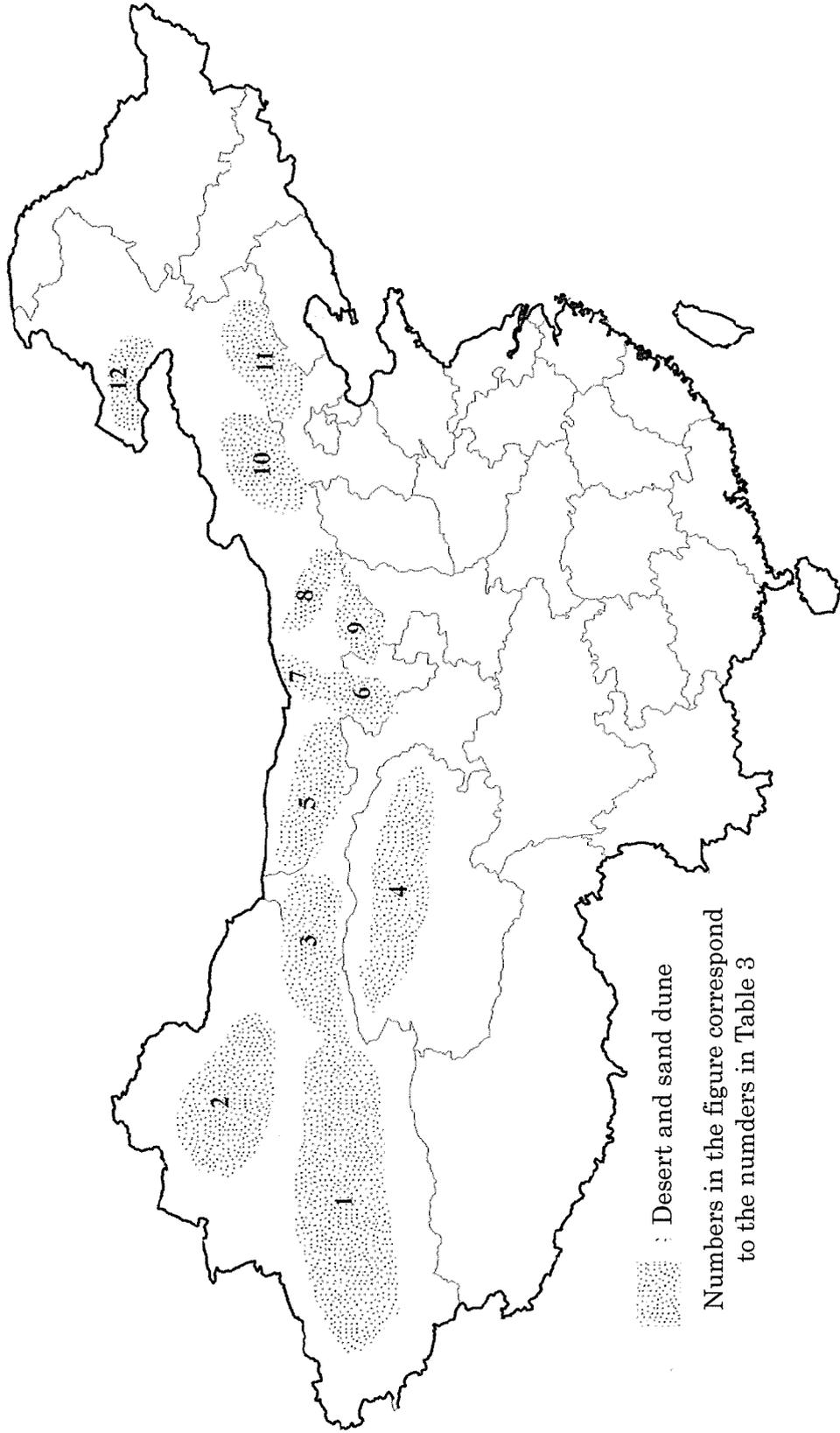


図 2 - 2 中国大陸内における沙漠と沙地の分布(「中国地図, 2004 ; 内蒙古地図, 2004」に基づく)

2.3.1. 荒 漠

荒漠とは、荒れ果てて、果てもなく続いているさま、またはそのようなところの意である（佐藤，2001）。

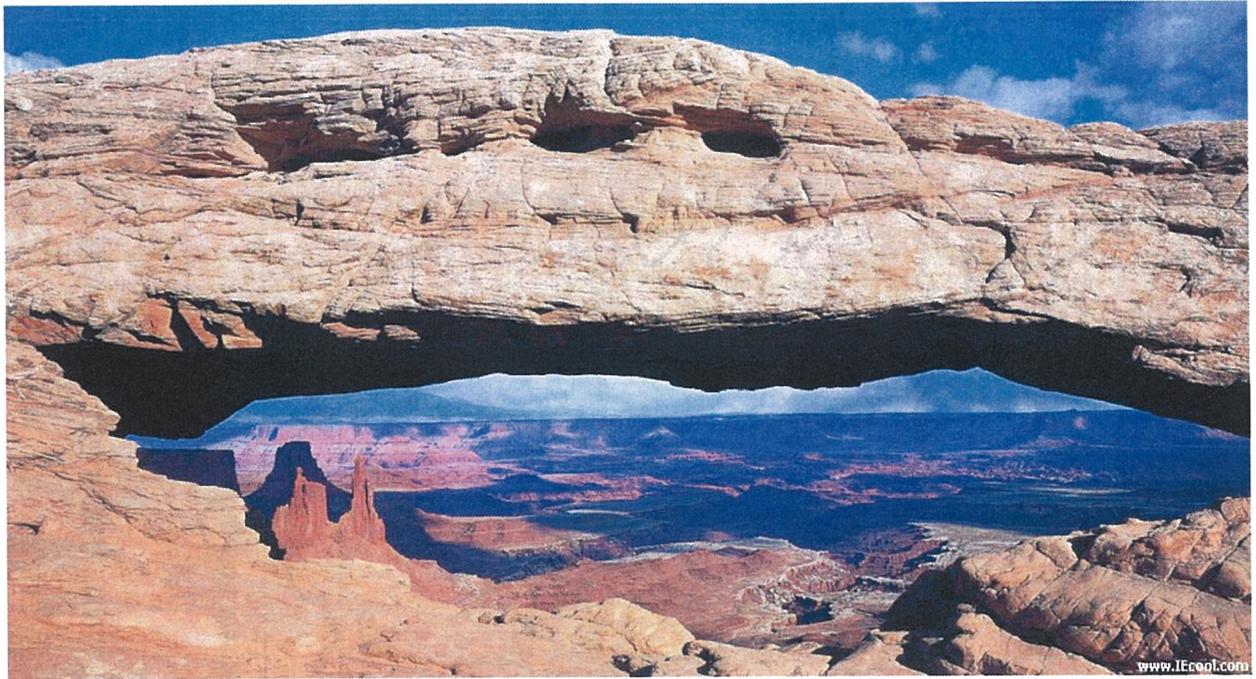


写真 2 - 1 ゴビ荒漠 (<http://www.iecool.com/photoshow67056297.htm>)



写真 2 - 2 中国タクラマカン（塔克拉玛干）沙漠の風景 (photo100 撮影)

荒漠は沙漠ばかりでなく、沙丘、草原、塩漠、ツンドラでの生態系統あるいは生物地理帯であり、乾燥地域において降水量が不足し、かつ土壌が劣化し、生物の生産量が極めて低い地域（写真2-1, 2-2）で、いわゆる「不毛之地」（植生なしの意味）であるが、植生が全くないところは少ない（趙・趙，2001）。英語の *desert* を中国語では荒漠とも、沙漠とも訳す。

2.3.2. 沙 漠

沙漠は乾燥気候のため植物がほとんど生育せず、岩石や沙礫からなる荒野である（堀・菊地，2007）。沙漠は降水量が少ないため、植物根圏の土壌水が少なく、植生が少ない景観を呈する（篠田，2009）。

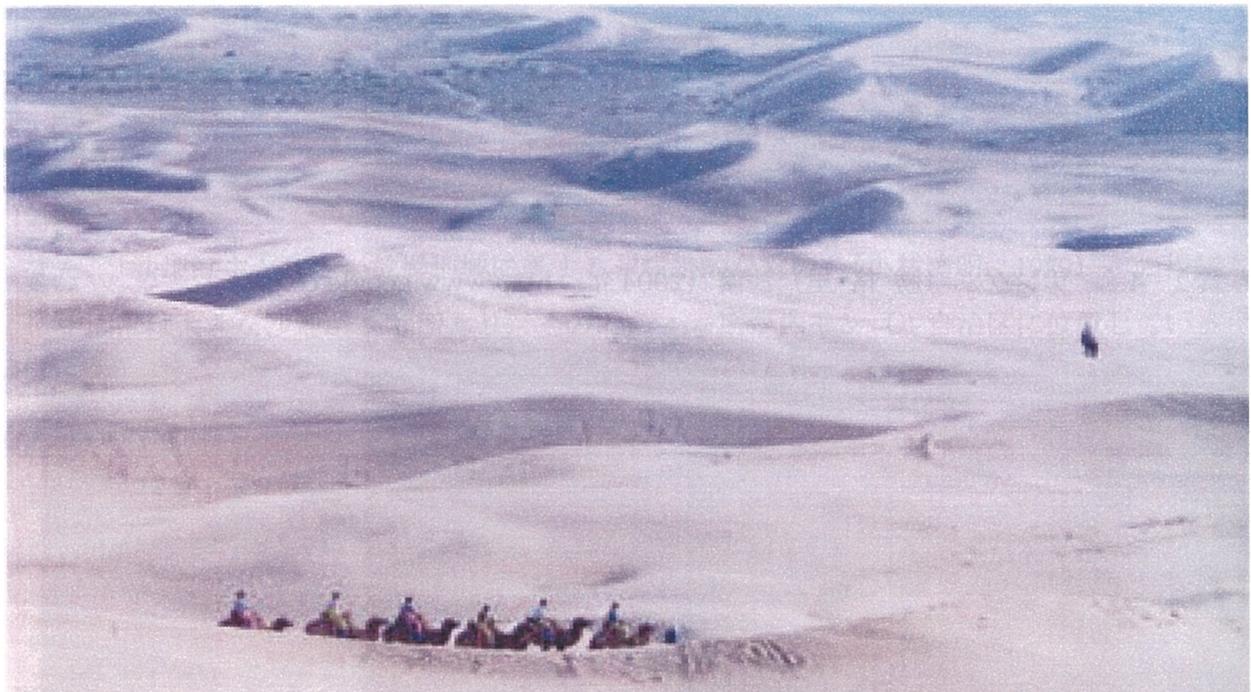


写真 2□3 沙漠 (http://www.geocities.jp/soil_water_mitchy11/DesertCause.htm)

中国では、沙漠は沙質荒漠の略称で、一般に風によって運ばれる沙質土が沙丘を形成する特種な地形（写真2-3, 2-4, 2-5）であり、乾燥度のより厳しい荒漠とみなすことができる。沙漠はもともと自然の作用により形成されたところに、人間活動が加わり、より厳しい荒漠状態に進行したものである。また、沙漠は地表の物質の存在状況によって沙沙漠（沙の沙漠）、岩石沙漠、礫沙漠に区分される。中国では礫石沙漠をゴビ沙漠（岩石沙漠と礫沙漠を石沙漠と称し、礫沙漠はゴビ沙漠に含まれる）、また、土でできた沙漠を土沙漠、塩の析出した沙漠を塩沙漠と呼ぶ。中国

の沙漠は地域によって一般に西北部の白色沙漠（褐色沙）、中東部の黄色沙漠（黄土高原付近の黄色沙）、南部の紅色沙漠（ラテライトの赤褐色沙）に分類される。

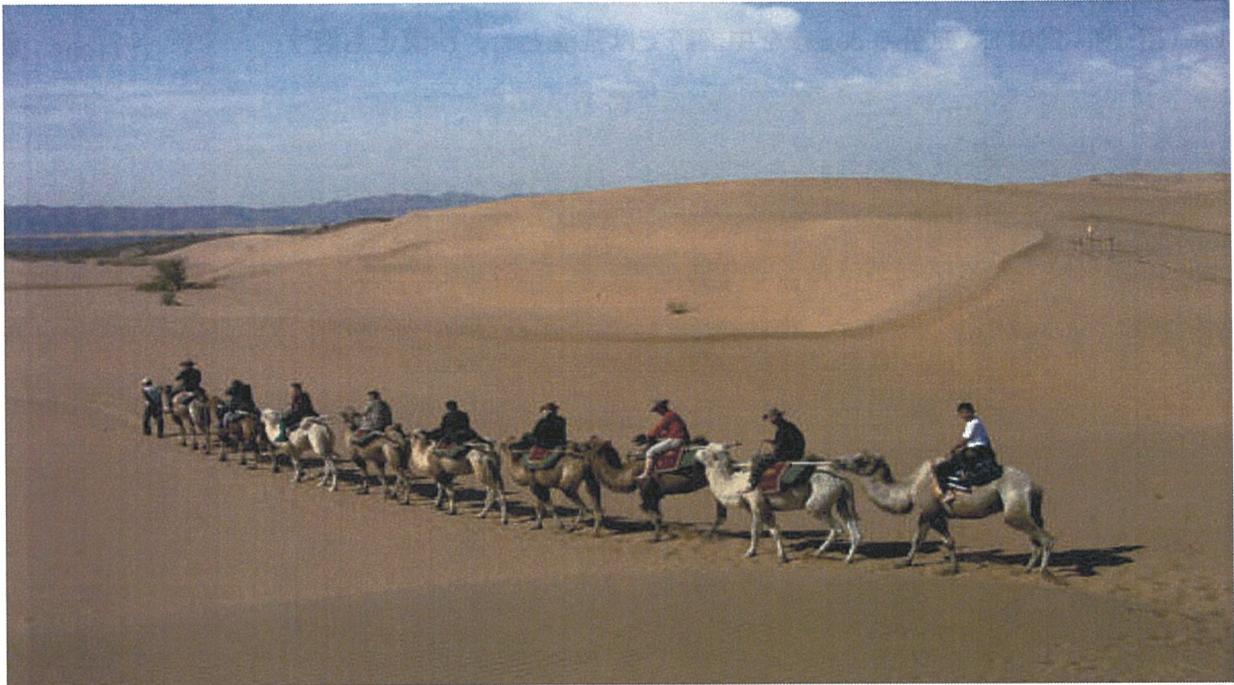


写真 2 - 4 テンゲリ（勝 格 里）沙漠（2004 年 <http://www.google.co.jp>）



写真 2□5 グルバントンゴト（古爾班通古特）沙漠の風景（<http://www.hudong.com/wiki>）

なお、「沙漠」の文字の書き方と意味については、以下のようなものである。

漢字：中国の文献ではいずれも「宀」偏と「少」を合した「沙」と「漠」の文字で「沙漠」と書き、その意味は「干ばつ気候によって起きたものである」（朱ほか，1999），「地表が沙や礫に覆われ，干ばつで水源不足地域である」（辞源，1982）。日本では「沙漠」と「砂漠」の二つの文字の書き方があり，意味は「降水量が少ないため植物が生えていないか，もしくはまばらなところである」（堀・菊地，2007；赤木，1990；赤木，2005；小林，1989）。

英語：「沙漠」と「砂漠」を英語で書くと「desert」であり，意味は「水がなく不毛の土地が，果てしなく続く状況・景観を示す」（日中英複合辞書）。

2.3.3. 沙 地

沙地とは中国の研究者の分類では，「半乾燥・乾燥半湿潤地域における人為的な因子の総合的な影響と妨害を受けて，沙漠のような地形が形成される地域」であり，植被率（表 2 - 4）により流動沙地，半固定沙地（半流動沙地，写真 2 - 6），固定沙地とに分けられる

（<http://zhidao.baidu.com/question/7336652.html>）。

また，「沙地は主として半乾燥地域に属する非成帯的なもの」（小林達明，1989）との指摘もある。中国には大きな沙地が 5 ヶ所あり，その内の 4 ヶ所が内モンゴル自治区に位置している。これらを西から東に順にみていけば，モウウス（毛烏素）沙地，フンサンダケ（渾善達克）沙地，ホルチン（科爾沁）沙地，フリンペリ（呼倫貝爾）沙地である（表 2 - 3，図 2 - 2 参照）。現在，これらの沙地の劣化プロセスは人為的な影響によるものと確認されている（治沙造林学編委会編，1984）。

表2 - 4 沙地の区分類基準（<http://zhidao.baidu.com/question/7336652.html>）

Class	Moving sandy land(sand dune)	Semi moving sandy land	
		(sand dune) semi fixed sandy land (sand dune)	fixed sandy land (sand dune)
植被率 (%)	10	10 ~ 29	30



写真 2 - 6 ホルチン沙地の半固定・半流動沙丘 (2008 年 7 月)

2.3.4. 荒地



写真 2 - 7 洛恵渠灌区の湛水荒地 (2007 年 3 月) : 塩類集積がみられる.

荒地とは農業などに適さない不毛の土地，あるいは農業が放棄され荒れている土地である（写真2-7，2-8）．荒地は雑草などが生い茂る非利用地であり，一般に乾燥地域ではウォーターロギングが生起しやすい等の理由で，土地利用に適さない場所に多くみられる．そのほか，開発計画が頓挫した結果放置されている土地も荒地である．荒地への劣化プロセスは，不適切な人間活動による影響が大きいといわれている．

2.3.5. ゴビ

ゴビとは荒漠の一種であり，モンゴル語で礫石荒漠という意味の言葉で，地形が滑らかで，地表に礫石が覆われた荒漠地帯を指す（写真2-8，2-9）．ゴビは気候の変化により形成されたものであると認められている．ゴビは荒漠のうち石質と礫質のもの（小林，1989）を指す．この風景は乾燥・半乾燥地域の風力が強いところでみられる．



写真2-8 モンゴル国境のゴビ（2008年8月）



写真 2 - 9 モンゴル国境のゴビ (2008 年 8 月)

2.3.6. 沙 丘

沙丘とは、風によって沙が運ばれ、堆積した地形であり、乾燥気候に関係なくできるものである。強風が沙丘の沙を絶えず動かしているため、植生根が土壌面に定着することができず、沙丘では植生の被覆が進まない。このため、沙丘は沙漠のような姿をみせる(篠田, 2002)。沙丘は、植生の被覆率により移動沙丘と固定沙丘に分類され、形成場所により沙漠沙丘、海岸沙丘、河畔沙丘、湖畔沙丘に分類される。

以上の説明から、沙漠沙丘は荒漠に含まれるが、沙漠とはいえない。もちろん、沙漠沙丘はその存在の場所により、沙漠か沙地かに含まれる。

ここまでの沙漠の種類をまとめると以下のようである(図 2 - 3)。

荒漠は、沙漠とゴビと荒地と沙地を含む。その中の沙地は、半乾燥・乾燥半湿潤地域に現れる地形で、沙漠は乾燥地域に表れる地形である。沙丘は強風条件下で形成され、乾燥度等の気候条件とはあまり関連がない。

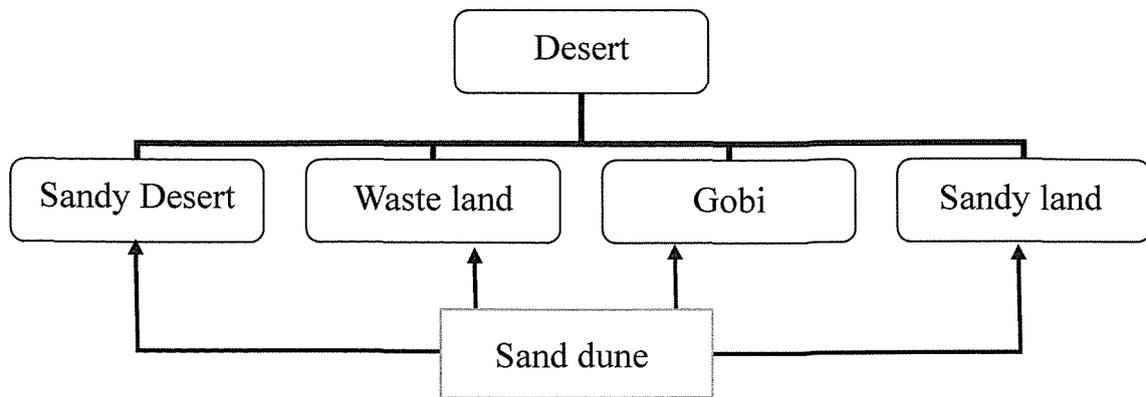


図 2-3 中国における荒漠・沙漠・沙地等の関係

2.4. 沙漠化のプロセスとメカニズム

沙漠化の概念については、既に説明したのでここでは省略する。世界全体で急速に沙漠化は進んでおり、現在陸地面積の約 25 %が沙漠化し、世界人口の 14 %が影響を受けていることが知られている。世界で最も人口の多い中国においては、沙漠化の影響を受けている人口は 4 億を超え、沙漠面積は国土面積の約 20 %を占め、中国の耕地面積の合計を超えている。実際、沙漠化とは、もともと非沙漠地域で人間活動が行われていた土地が、過度な土地利用によって表土が露出して侵食作用（主に風食）を受け、荒漠のような景色が形成される土地の劣化である。この沙漠化の要因は、各地域における自然条件と社会経済条件などの影響で異なるため、地域によって沙漠化の進行の要因や形態も異なる。現在の沙漠化の要因について、さまざまな研究成果が報告されているが、要約すると自然のおよび人為的な二つの要因によりもたらされるということである。世界的にみれば沙漠化の要因は、人為的な活動による影響が強いといわれているが、中国においてもこの傾向は同様で、沙漠化は人為的な要因に起因するところが圧倒的に多い。

2.4.1. 自然の影響

沙漠化プロセスの自然的要因は、気候要因の降水量の変化と気温変化であるが、主として年降水量の変化が沙漠化の進行に強く影響を与える。しかも、降水量の多少は地域に異なる影響を与える。例えば、水食による土地の沙漠化は、降水量が多いほど沙漠化が進行する一方、風食による土地の沙漠化は、降水量が少ないほど沙漠化が進行する。このような例は、乾燥地域と湿潤地域の両者が存在する中国によくみられる。中国の華北地域における沙漠化は、風食によるもので

あるため、多降水年では当該地域における日照と降水が相まって、土地の保護層である表土の植生被覆率が高まる（ブレンサイン，2002）。このため、風食が抑制され沙漠化の進行が緩慢となり、沙漠化が抑制される。同時に、中国の華南湿潤地域においては、水食による土地の沙漠化が深刻になる。このように沙漠化に影響する気候因子、すなわち自然的要因の幾つかの因子は複雑であり、ここでもう一度詳述する。

気候因子とは、ある地域の気候の特徴を支配する要因であり、気候に地域差を生じさせる原因のことである。具体的には、気温、降水量、日照といった気象要素の長年の平均値に影響を及ぼす要因のことであり、緯度、高度、地形などである。

気温：海から蒸発した水蒸気は、上昇気流により上空の冷たい空気によって冷やされて、やがて雲となり雨となって降ってくる。すなわち上昇気流の生じる所に雨が降り、雨を降らしたあとの乾いた空気の通る場所が乾燥する。降水量だけでは沙漠化を定義することはできない。それを決めるのは水収支である。すなわち、降水量と可能蒸発散量の差である。降水量が少なくても可能蒸発散量がそれよりも少なければ、土壌は水分を保持できるので植物は生育し得る。降水量が少々多くても、可能蒸発散量がそれを上回れば土壌水分は欠乏して植物は育たない。両者の関係がその地域の乾燥程度を決定する。沙漠地帯の可能蒸発散量は降水量の10倍～500倍にもなるというから大変な量である（藤原，2009）。炎天下、真夏の沙漠で植樹をしても汗が流れることはない。作業中1割も水を飲むのに汗をかかない。よく「沙漠の空気は乾いている」といわれるが、事実は逆で乾いた空気が流れて土壌水分が欠乏するため沙漠になっているのである。

降水量：地球の表面の約70%は海でおおわれている。しかもその海の平均の深さは3,800 mに及ぶ。その海の水が蒸発して冷やされ雨や雪となり地上に降ってくる。この水の循環が大気を動かすエンジンとしての役割を果たしている。

世界の年間平均降水量は約740 mmであり、これだけ降水量があれば通常の天水農業（畑作）は十分可能である。年間降水量が500 mm程度でも条件が整っていれば小麦等の乾燥に強い作物の栽培は可能である。日本の年間平均降水量は1,800 mmで、世界の年間平均降水量の約2.4倍もある。この豊かな降水量が水田、灌漑農業を可能にし、その水田がまた豊かな地下水を涵養している。アフリカや東南アジアの熱帯雨林帯は年間降水量が4,000 mm以上であり豊かな熱帯樹林を育んでいる。熱帯雨林は一見豊かな生態系に見えるが温度が高いために、微生物の働きが活発で落ち葉などの有機物がすぐに分解されるため、表土も薄く「緑の沙漠」とも呼ばれている（藤原，2009）。

一方、年間降水量200 mm～500 mmの地域は、半沙漠やサバンナ、ステップとなっている。灌木や草原を形成する程度の生産力しかないため、遊牧民の生活の場となっている。放牧によっ

て草原が痩せてくると遊牧民は移動し、その間に草原が回復するといったかたちで生態系が維持されてきた。

ある研究者の論述では、年間降水量 200 mm（他説では 250 mm）以下が沙漠であり、年間降水量 25 mm 以下を極沙漠といい、全陸地の 4 %を占めている（藤原, 2009）。水蒸気は気体なので、空気の温度、密度、空気が流れる途中にある地形、気流の交わる場所、つまり前線の発生、地球の自転、太陽のエネルギーなどの影響により、場所によって水の降る量にバラツキが生じる。沙漠の原因は第一に雨の少ないこと、水の少ないことである（藤原, 2009）。

風速：先述したように「沙漠化とは非沙漠地域が、人間活動に影響されて植生被覆率が低下し、侵食（主に風食）を受けて表土が現れ、沙漠的景色が出現する土地劣化のプロセス」である。したがって、沙漠的景色の形成は風の影響によるところが大きい。そして風速の強弱により沙漠化の進行程度が決まる。このプロセスは、中国の華北地域における沙漠化に当てはまる。朱らの著（1999）『中国沙漠化防治』には、「中国の華北地域は乾燥・半乾燥地域に属し、年間降水量 600 mm 以下で、山地や丘陵以外の表土は厚層の疏松沙質沈殿物に覆われ、層厚が 20 ~ 30 m、厚いところでは 200 m にも達する。また、華北地域においては、風速が 5 m/s 以上の風の発生する日は年間 220 ~ 310 日で、風速が 17.1 ~ 17.2 m/s にも達する風の強い日が 20~30 日ある。特に、春季は 17.1 ~ 17.2 m/s に達する風の強い日が年間の 4 割から 7 割を占め、しかも春季は降水量が最も少なく（年間降水量のわずか 8 ~ 13 %）、かつ、最も乾燥状態が厳しい。春季には、少ない降水量と強い風そして強い日射量、植生被覆率の最低時期が一致するため、表土が強風によって吹き上げられ（風食）沙漠化が広がっていく」と記されている。

日射量：地表面の蒸発散量と日射量の関係は、日射量が多くなればなるほど蒸発散量が上昇（高橋, 1989）し、地域に対しては蒸発散量が降水量を上回ることでこの地域が乾燥し、他の気候因子と相まって土地が劣化し沙漠化が起きる。

沙漠化は降水量が少なく、乾季が長く、干ばつの常襲地帯で、侵食・堆積作用の激しい表面と貧弱で薄い土壌層をもち、植生がまばらな生態系地域でしばしば発生する。今までの諸研究者らの論述によると、沙漠化の気候因子を用いた指標としては蒸発散量と降水量の比が用いられるが、この指標を反映する要因は少なくない。

2.4.2. 人為的な影響

土地の沙漠化の要因には、気候条件の変化と人間の不適切な土地利用、またはその二つの複合要因の三つの要因があると指摘されているが、人間の不適切な土地利用が沙漠化の最も大きな要

因である（赤木，1990）。

しかしながら，中国における人間の不適切な土地利用が沙漠化を誘引するプロセスについては，図2-4に示すように幾つかあって，これらが相互に影響し，交錯し合って，進行する．影響力の強さによって，どちらかが主でどちらかが副ということになる（朱ほか，1999）．中国の華北地域における沙漠化の諸要因の中では，過度な開墾や耕作による沙漠化の占める割合が最も大きく，内モンゴル自治区バインタラ地域がその代表例として挙げられる．「バインタラ」とはモンゴル語で水が澄んで底まで見え，草花が美しく豊かな平野という意味である．実際，地元の老人によれば，バインタラ地域は数十年前には確かにカモシカや鹿・野馬など多くの野性動物が生息していた美しい草原であった．しかしながら，バインタラ地域は数年前に河が断流し，その周囲は「沙海」（沙海：海のような果てなく広い沙の荒漠という意味．写真2-10，2-11）になってしまった．この地域の土地の劣化は今後も続くことが予想され，将来的に生活環境の悪化が懸念される．もともと豊かな草原であったバインタラ地域が沙漠に変わった原因は，草原を過度に開墾した結果である．バインタラ地域の深刻な沙漠化問題については，第3章で詳述する．

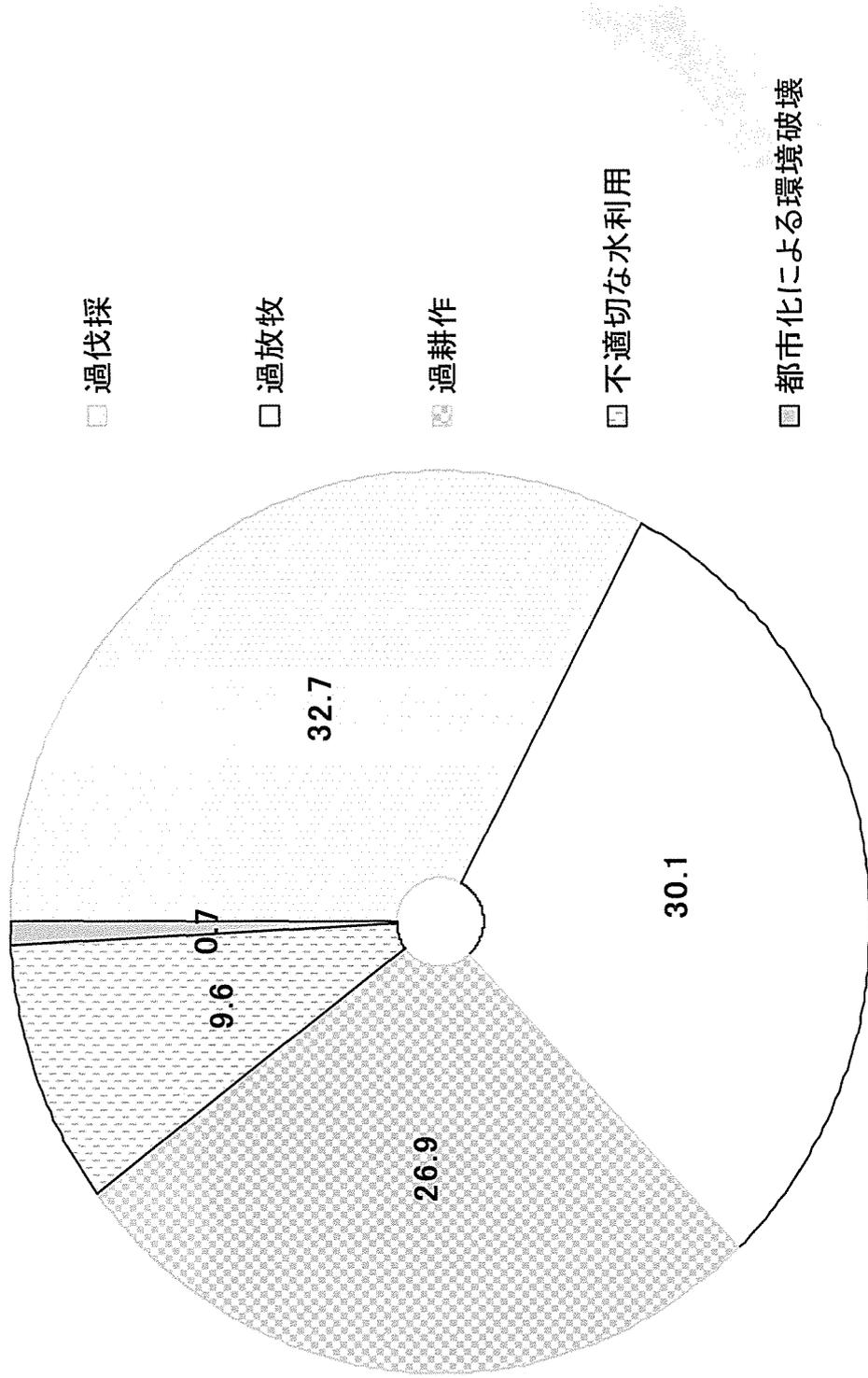


図2-4 中国における沙漠化の人為的因子とその影響度(朱・朱, 1999年より改編)



写真 2 - 10 ホルチン沙地のある牧地（2008 年 7 月）



写真 2 - 11 農業・牧業の混淆地域の退耕退草地域（2008 年 7 月）

中国華北地域の沙漠化を促す主要因の一つである過放牧は、風食土地の劣化、すなわち沙漠化面積のもっとも大きな割合を占めている。実際に中国華北地域の牧民が遊牧生活から定住生活へ変換するに従って、放牧より耕作が重視されるようになり、大幅に土地が開墾され、家畜の放牧場が耕作地に奪われたため、限定された狭窄放牧場に予想外の負荷がかかることとなった。このような過放牧の根本的原因は、放牧場の開墾による狭小化である。

中国華北地域の乾燥・半乾燥地域における深刻な沙漠化は、地元の人達の生活環境や経済に大きな影響を投げかけている。日常生活に用いる燃料は、経済的な理由からほとんどの人々が、ガスや石油を使用することができず、代わりに麦藁などの作物残渣や樹木を燃料として使用している。特に、冬季は暖房のために高カロリーの得られる樹木が必要とされる。中国内モンゴル自治区奈曼旗で行った燃料についての調査では、次のような結果が得られた(表2-5)。この地域の40%の農・牧民の燃料が不足に見舞われ、燃料の67%が樹木の伐採や草刈り(写真2-12)によって調達されている(Wang et al., 2004)。さらに、現金を得るために、沙漠化の抑制に寄与している薬草を取ることもある(写真2-13)。

表2-5 奈曼旗農村燃料の統計 (Wang et al., 2004)

Classification	Ratio (%)
Residual	22.3
Weeds	31.3
Trees	35.6
Scum	10.2
Gas and oil	0.7

このようにもともと脆弱な乾燥・半乾燥地域から、過度な伐採や薬草等を採取することは、樹木や草類の資源の減少を招くだけでなく、表土が露出することにより、風食が起これ、環境の悪化を直接招くことになる。これらの行為は、華北地域の乾燥・半乾燥地域で常に行われているため、同地域の沙漠化が食い止められない原因の一つであると考えられる。

華北地域における土地の沙漠化を促す別の大きな要因は、水資源の不合理的な利用である。



写真 2 - 12 冬季暖房用燃料（伐採された灌木, 2008 年 7 月）



写真 2 - 13 沙漠に自生する薬草（2008 年 7 月）

乾燥・半乾燥地域の降水量は絶対的に不足するため、天水だけに頼って農業や牧業を営むことは不可能であり、灌漑が不可欠の条件となる。しかしながら、効率の悪い灌漑は、農地およびその周辺にウォーターロギングをもたらし、塩類化（写真 2□7）を引き起こす（赤木，1990）ことになり、沙漠化の要因となる。なお、塩類化については、第 4 章に詳述する。

現在、中国は経済的に目覚ましい発展を続けており、世界の注目を集めている。特に 1980 年から開放政策を実施し、中国独自の経済体系を確立するために、農業を基盤として工業を発展させる戦略を開始した。そのために中国の至る所で大中小の経済活動が活発化し、経済的利益が得られるようになるにしたがって、不適切な土地の開発や企業管理が横行し、その結果環境が破壊され、大気圏や水圏の汚染・土地の沙漠化などを引き起こしている事例がたくさん挙げられている。

上述の沙漠化プロセスにおいて、過度な開墾、放牧、伐採に加え、水資源の不適切な利用、過度な建設計画など、国家の政策の一環として進められている活動も沙漠化に加担している。環境を悪化させる行為が、国家政策により進められていることも、土地の沙漠化に拍車をかけている原因の一つである。土地の劣化、すなわち沙漠化は、これらの因子が単独で起こるのではなく、多くの因子が相互に関連(図 2-5)し、交錯し合って生起する現象である。したがって、人間は自然の法則を逸脱した行為は、厳に慎しむべきであり、常に「人の計算は天の計算に負ける」との中国の古い諺を信じるべきである。

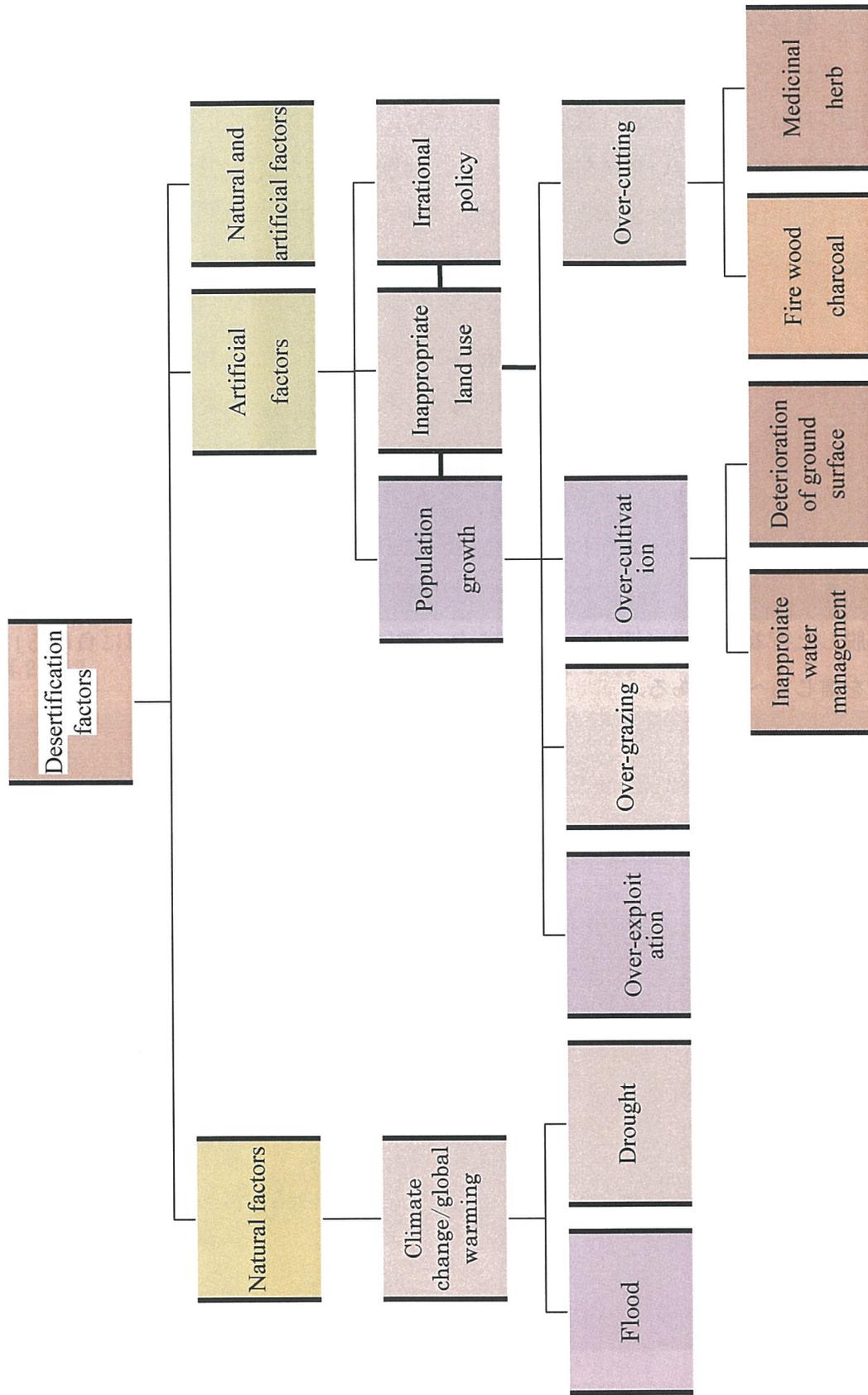


図 2 - 5 土地の沙漠化要因とその相互作用

2.5. まとめ

既存の文献により，乾燥・半乾燥・乾燥半湿潤地域における土地の劣化，いわゆる土地の沙漠化に影響を与える要因を明らかにした．特に中国華北地域における沙漠化の要因，自然のおよび人為的な影響を明らかにし，同地域における沙漠化は脆弱な自然因子に，過度な人間活動が主因であることを明らかにした．さらに，中国における経済開発政策は環境保全政策と整合性が取れていないことも明らかにした．地元の人々の生活改善はこれから解決すべき大きな課題であり，深刻な沙漠化を食い止めるには適切な技術や対策または経済的な援助が必要である．上記のような中国における沙漠化問題は，世界の各地域における沙漠化問題と大同小異である．環境を改善し沙漠化を食い止める問題は大量の人力・物力に加え新しい技術も重要であると考えられる．これらの課題を解決するには地元の人間の力だけでは極めて困難と考えられる．沙漠化問題は地域の行政組織や国家の問題，ひいては国際的な問題であると考えられるので，沙漠化を解決するためには政府・国家や国際的な連携・支援も必要であると考えられる．現在人類が生存できるのは宇宙の中で地球しかない．このかけがえのない地球を守り，人類が将来的に平和に生存できるようにするためにも，沙漠化問題は早急に解決していかなくてはならない人類共通の課題である．

引用文献・主要参考文献：

1. アジア・アフリカ防止荒漠化会議（1996）：『Combating Sandy desertification in China』, 2000: 465.
2. 赤木祥彦（1990）：『沙漠の自然と生活』, 地人書房：209.
3. 赤木祥彦（2005）：土地の劣化とは, 『沙漠化とその対策 乾燥地帯の環境問題』, 東京大学出版会：13.
4. 辞源（1982）：『辞源』, 第三冊. 商務印書館出版.
5. 藤原国雄(ネット)：「砂漠の緑化をめざして」緑化ボランティア・レポート.
(<http://www2.wbs.ne.jp/~kunio/sabakukagaironn.htm>).
6. 堀信行・菊地俊夫（2007）：世界の沙漠, その分布と特性. 『世界の沙漠, —その自然・文化・人間—』, 二宮書店.
7. 北村義信（2000）：「乾燥地における共同研究の概要」, 『世紀を拓く砂丘研究：砂丘から世界の沙漠へ』, 日本砂丘学会, 財団法人農林統計協会：288 - 321.
8. 北村義信（2009）：乾燥地の農業農村開発. 『農業農村工学ハンドブック』, 農業農村工学会編（印刷中）.
9. 小林達明（1989）：「「砂漠」・「沙漠」の検討と「砂地」の提案」. 『中国の乾燥地における沙漠化の機構解明と動態解析, —毛烏素沙漠の沙漠緑化と農業開発に関する基礎的研究—』, 内蒙古沙漠開発研究会, 総合印刷出版株式会社：206 - 208.
10. 内蒙古地図（2004）：『内モンゴル自治区地図冊』, 中国地図出版社.
11. 根本正之（2007）：『沙漠化ってなんだろう』, 岩波ジュニア新書.
12. 沙地(2006)：沙地是指什么地貌？戈壁是指什么地貌？
(<http://zhidao.baidu.com/question/7336652.html>).
13. 沙漠と沙漠化の違い（ネット）(<http://www2.wbs.ne.jp/~kunio/sabakukagaironn.htm>).
14. 佐藤憲正（2001）：『日本国語大辞典』, 第二版 第9巻 小学館：415.
15. 篠田雅人（2009）：沙漠化と干ばつ. 『篠田雅人編：乾燥地科学シリーズ 2 乾燥地の自然』, 古今書院.
16. 高橋国昭（1989）：果樹栽培と風, 「市民公開講座」テキストより転載,
(<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jssdr/world/world16.html>).
17. 治沙造林学編委員会（1984）：『治沙造林学』, 中国林業出版社, 北京.
18. 山本太平（2008）：沙漠化と土地劣化. 『山本太平編：乾燥地科学シリーズ 3 乾燥地の土地劣化とその対策』, 古今書院：2.

19. 山本太平・藤山英保・中島廣光・作野えみ (2008) : 土地劣化. 『乾燥地の土地劣化とその対策』, 古今書院 : 4.
20. 吉川 賢・山中典和・大手信人 (2004) : 乾燥地の自然環境. 『乾燥地の自然と緑化—砂漠化地域の生態系修復に向けて—』, 共立出版, 1.
21. 趙哈林・趙興梁 (2001) : 『English-Chinese dictionary of desert and desertification』 英漢荒漠与荒漠化辞典. 海洋出版社 : 87.
22. 治沙造林学編委会編 (1984) : 『治沙造林学』, 中国林業出版社, 北京.
23. 中国地図冊 (2004) : 『中国地図冊』, 哈爾濱地図出版社.
24. 中国平論新聞 (2006) :
(<http://cn.chinareviewnews.com/doc/1001/5/9/6/100159600.html?coluid=0&kindid=0&docid=100159600>).
25. 朱俊風・朱震達など (1999) : 沙漠化的成因和類型. 『中国沙漠化防治』, 中国林業出版社.
26. Arnold, E (1992): World Atlas of derertication. UNEP, London. 69.
27. Middleton, N. and Thomas, D. (1997): world atlas of derertification. UNEP, London. 182.
28. Wang T., Wu W., Zhao H.L., Hu M.C., Zhao A.G (2004): Analyses on driving factois to sandy desertification process in Horqin Region, China. Journal of desert research, 24(5) : 519 – 528.
29. Zhu J.F., Zhu Z.D (1999): Combating Sandy Desertification in china. Forestry Publisher of China, 5-80.

第3章

中国・内モンゴル自治区バインタラ地域における沙漠化の変遷について考察

—衛星画像データの解析による—

3.1. 概 説

中国において沙漠化の深刻な地域は主に長城以北の農業と牧業の混雑地域であり、その東端に位置するホルチン沙地の沙漠化は最も深刻である (Hao *et al.*, 2004) . ホルチン沙地の沙漠化については、自然的要因 (He *et al.*, 1994) , あるいは人為的要因に関すること (Liu *et al.*, 2004) , 土地利用に関すること (厚, 1992 ; 今川ほか, 2000 ; Zhang and Zhao., 2003 ; 曹ほか, 2004) , 沙漠化防止対策に関すること (今川ほか, 2000 ; 山本, 2008) , 時間的空間的変化のモニタリングに関すること (Shen *et al.*, 1993; Yan *et al.*, 2002) 等、国際的にも評価の高い重要な研究成果が報告されている。中国の沙漠化面積は、1975年から1987年までの間に $2,100 \text{ km}^2/\text{年}$ の速度で広がっている (朱・王, 1990) .

そこで、ホルチン沙地中部に位置するバインタラ地域を対象地域として、沙漠化について村単位に分析と考察を行った。本論文ではその結果を報告する。

3.2. 研究対象地域の概要と研究方法

3.2.1. 対象地域の概要

研究対象地域は、中国・内モンゴル自治区東部のホルチン沙地の中部に位置するバインタラ地域である。この地域の面積は約 4.9 万 ha (北緯 43°00' ~ 43°15' および東経 120°37' ~ 120°58') で、半乾燥草原地帯に位置する (図 3 - 1)。1975 年~2006 年の 31 年間における年平均気温は 7.2°C、年間の最高月平均気温は 7 月に生起し、平均 23.9°C である。1975 年 ~ 2004 年の 29 年間における年平均降水量は約 360 mm で、年降水量の 70 % は 6 ~ 8 月に集中している。1975 年 ~ 2000 年の 25 年間における年可能蒸発散量は約 1,700 mm で、5 月の蒸発散量が最も多い。大風 (中国においては風速が 17.2 m ~ 20.7 m/s で、樹木の枝が折られる程度、波の高さは 5.5 m を超えるときを指す) の発生はこの地域の特徴 (奈曼旗志編委会, 2002) であり、大風と砂嵐は 3~5 月の春季に集中する。このため、春季は蒸発散量が最も多く、旱魃の起こりやすい時期である。

対象地域の土壌は大きく次の 2 種類からなる。すなわち、西北地域においては沙質土が主で、当該地域の約 90% を占め、また、東南地域においては草甸土 (herbal soil 中国では meadow soil と呼ぶ) が主である。前者は保水力が弱く乾燥し易いため、温度の変化が大きく、また養分不足であることから、農業に適さない土壌である。後者は比較的保水力が強く乾燥し難いため、温度の変化が少なく、また比較的養分が豊富であることから、灌漑農業や牧業に適した土壌である (奈曼旗志編委会, 2002)。本論文では以下、東南地域を農業区、西北地域を牧業区という名称で区別する。

対象地域は西遼河の流域に属し、その農業区と牧業区との境界に小清河という河が流れていたが、この河は 10 数年前に断流し、水資源は地下水しかない状況である。加えて、近年旱魃が連続して起き、地下水位が低下し、水資源の確保が益々困難となっており、バインタラ地域は内モンゴル自治区における水資源不足の顕著な 16 地域のひとつに数えられている (通遼市水務管理局資料, 2004)。1979 年から 2000 年までの年平均地下水位データ (奈曼旗水務管理局資料, 2007) を用いて、バインタラ地域における牧業区と農業区の地下水位の変動を図 3 - 2 に示した。牧業区における地下水位は 1980 年から 2000 年までの間で 0.61 m ~ 1.54 m (平均値 0.98 m, 標準偏差 0.21) と変動幅が小さい。一方、農業区においては 1980 年から 2000 年までの間で 1.16 m ~ 3.25 m (平均値 2.16 m, 標準偏差 0.65) と変動の幅は大きく、特に 1990 年代より地下水位が低下傾向にある。

対象地域の人口は約 1.5 万人で，主産業は農業と牧業で混雑的に営まれている．人口は西北部の牧業区に約 3 割，東南部の農業区に約 7 割が分布している．燃料は人間生活において必需品であるが，バインタラ地域における燃料は灌木である．2008 年に現地で行った聞き取り調査によれば，1 世帯の燃料を得るために年間約 6.7 ha ~ 13.3 ha の灌木が伐採され，対象地域全体では年間 3,000 ha 以上の灌木が伐採されている．伐採はほとんど冬季に行われるため，灌木が伐採された表土は春季の大風で容易に吹き飛ばされてしまい，風食被害がより深刻化する（Wang *et al.*, 2004）．

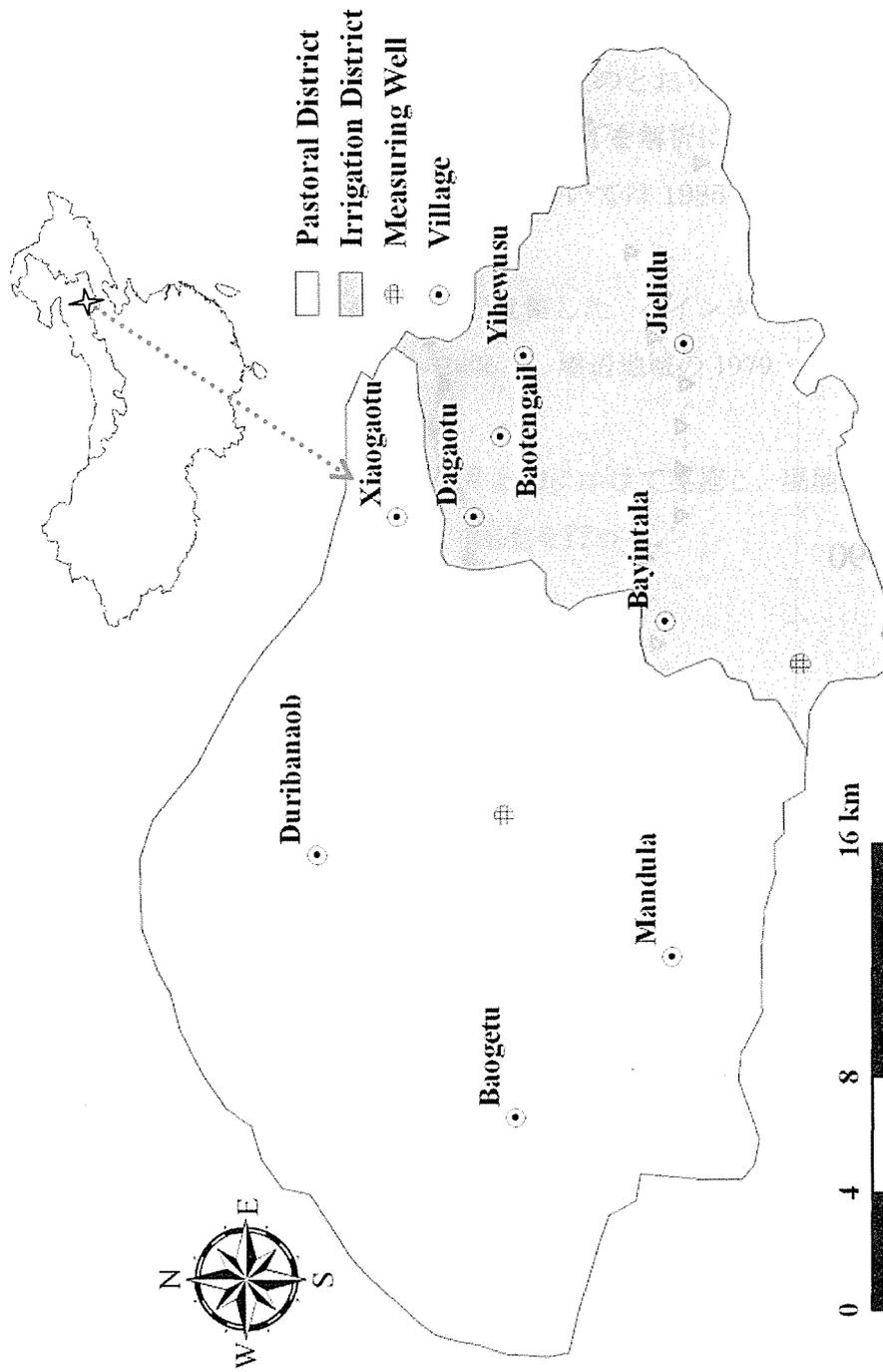


図3-1 中国におけるバインタラ地域

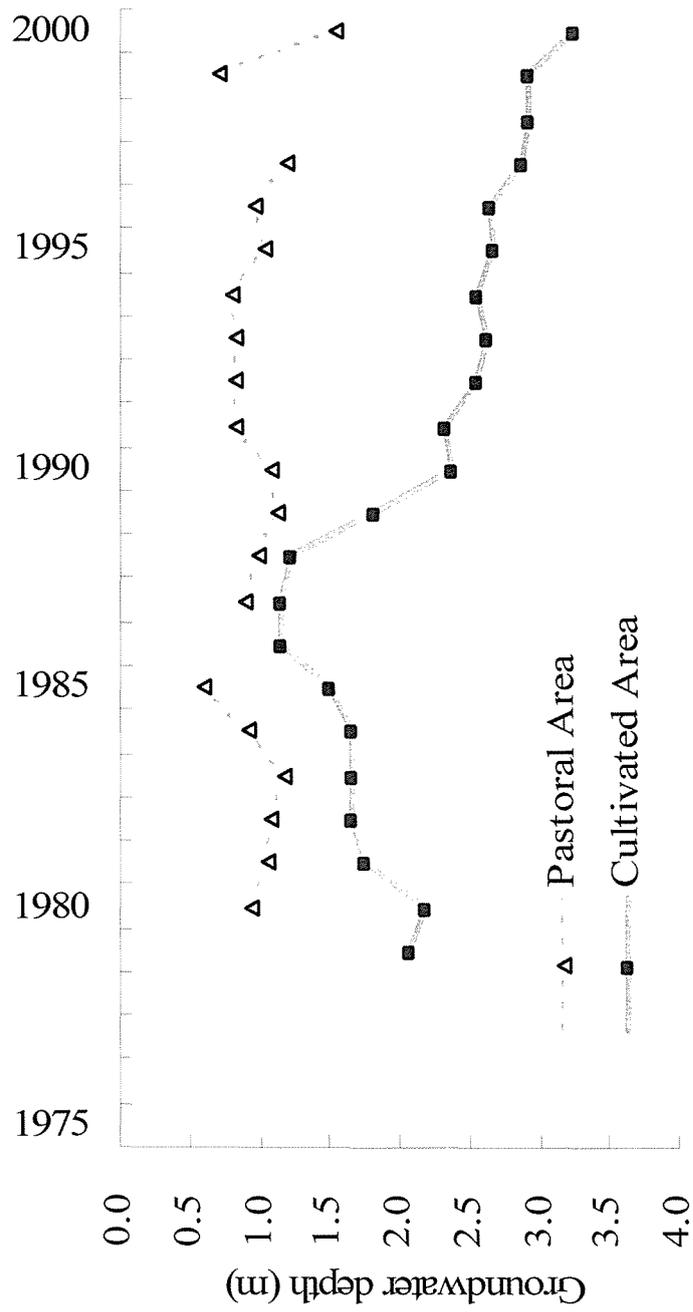


図 3□2 バイタラ地域における地下水水位の変動

3.2.2. 研究方法

1. 使用したデータ :

本研究で用いた衛星データ, 統計データ等は次のとおりである.

(1) 衛星データ : Landsat MSS と Landsat TM を解析に用いた. 撮影時期は Landsat MSS については 1981 年 9 月 28 日, Landsat TM については 1985 年 9 月 6 日, 1992 年 8 月 24 日, 1999 年 9 月 5 日, 2002 年 9 月 13 日である.

(2) 統計データ : 以下の資料を村単位で収集した. バインタラ地域の耕地面積, 放牧場面積, 家畜頭数, 人口 (奈曼旗当案局, 1980 - 2006), 周辺地域の 1979 ~ 2004 年の年降水量 (奈曼旗気象管理局, 1979 - 2004) .

(3) 現地調査 : 2008 年 7 月中旬 ~ 8 月上旬にかけて実施し, 現地住民からの聞き取り調査と衛星画像解析のためのグランドトゥールース踏査を行った.

2. 画像解析方法

まず, Landsat (1 ピクセルが 28.5 m, MSS 画像については 28.5 m 分解能に補間処理を行なった) 衛星データから NDVI (正規化差植生指標) 画像を作成し, その後, 現地踏査および 2000 年の土地被覆分類図 (内モンゴル師範大学地理学院, 2006) をもとに植被が可能な限りの確に抽出できるように各時期の NDVI の閾値 (後述) を求めた. NDVI とは, リモートセンシングの多バンドデータから求められる植生の有無・多少・活性度を示すものであり, 下記式 (1) で求められる.

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad \dots(1)$$

ただし NIR, R はそれぞれ, 近赤外バンドおよび赤バンドのデジタル値である.

次に現 (近) 況については, 最新のフォールスカラー合成画像の目視判読とグランドトゥールースの調査結果から NDVI の閾値を決定し「植生あり」と「植生なし」を区分した. また, 過去の植生分布の推定にあたっては各時期のフォールスカラー合成画像の目視判読と現地調査時における農民らからの聞き取り調査をもとに, NDVI 画像の各時期の閾値をそれぞれ決定し, 「植生あり」と「植生なし」の空間的分布を推定した.

次に, 区分された画像を 500 m メッシュの枠で囲み, メッシュごとに「植生あり」のピクセルの面積割合を求める.

その後「植生あり」のピクセルの面積割合 (以下, 「植被率」と呼ぶ) を (図 3 - 3 の凡例のよ

うに) 分類し, 植被率を計算した (後述).

1981年9月28日, 1985年9月6日, 1992年8月24日, 1999年9月5日, 2002年9月13日の5時期の植被率の空間分布の変化をもとにして, 沙漠化の進行と回復のプロセスを時間的, 空間的に把握したうえで, 自然環境および社会背景などとの相互関係について分析した.

表 3 - 1 衛星画像の撮影時期と NDVI 図の閾値

Date(year/month/day)	Threshold (Averaged NDVI)
1981/9/28	0.016 ~ 0.020
1985/9/6	-0.010
1992/8/24	0.060
1999/9/5	-0.037
2002/9/13	-0.220

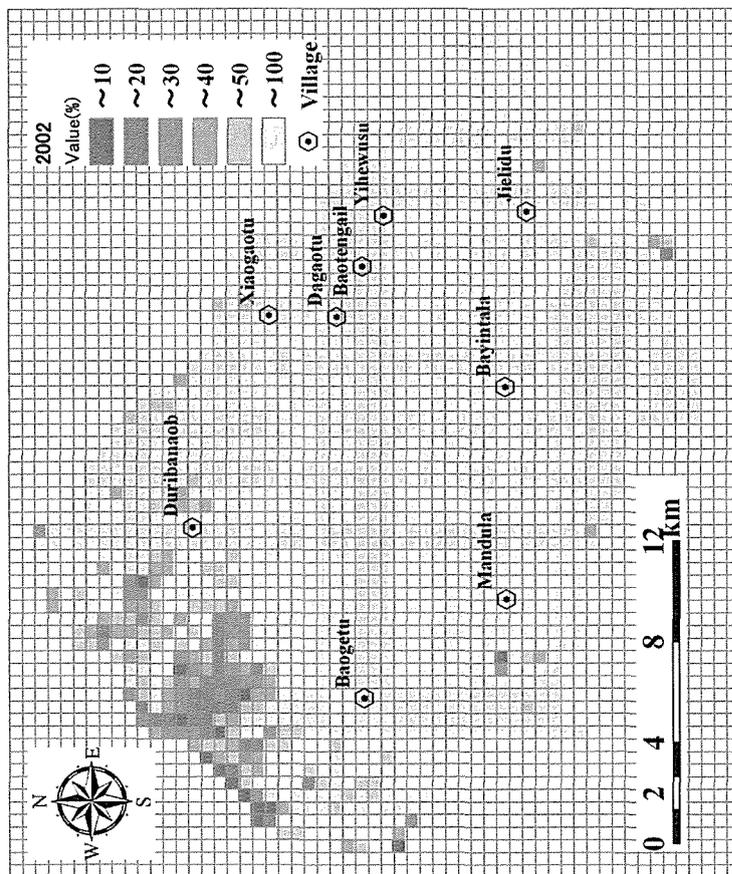


図3□3 2002年衛星画像の500mメッシュの重ね合わせ単位面積当たりの植被率

3. 土地利用政策による沙漠化の影響評価

1980年に中国政府が開放政策を開始してからの農業・牧業区における土地利用政策として、農耕地の請負耕作、家畜の個人所有、草庫輪（鉄柵）、放棄された土地や使用が困難な土地（荒地・荒山・沙地）の請負など農業と牧業区の土地所有権の請負契約制度、退耕・還林・還草政策などが実施されてきた。これら一連の土地政策の変遷を文献調査により明らかにし、これと衛星画像の解析より得られた沙漠化の傾向の関係について分析を行った。

4. 統計データの使用方法

バインタラ地域周辺の1979年～2004年までの気象データを用い、バインタラ地域における降水量の変動傾向を分析し、当該地域の沙漠化のプロセスとの関係解明に用いた。この地域では農業区、牧業区ともに家畜の飼育を行っているが、農業区と牧業区における家畜飼育形態はそれぞれ畜舎飼育と放牧飼育方式をとっている（2008年の現地調査より）。バインタラ地域における放牧場の年間牧草生産量と家畜1頭の年間基準食草量（綿羊換算）により、持続的な放牧場の放牧負荷量（理論的な負荷量）を求め（以下式(2)）、また当該地域の放牧場面積と家畜頭数を用いて実際の放牧場の放牧負荷量を式(3)より求めた（草業法規選編, 1993）。なお、バインタラ地域における牧場1ha当りの牧草生産量は1,275 kg（奈曼旗志編委会, 2002）である。また、ここでいう牧草は生草をさす。

$$N_s = P / G \quad \dots(2)$$

$$N_a = L_n / A \quad \dots(3)$$

ここで N_s は持続的な放牧負荷量（理論的な放牧負荷量）[頭数/ha]、 P は放牧場の単位面積当たりの年間牧草生産量[kg/ha]、 G は家畜1頭の基準食草量[kg/頭]、 N_a は実際の放牧負荷量[頭数/ha]、 L_n は家畜頭数、 A は放牧面積[ha]である。

これらの指標と、衛星画像の解析による沙漠化面積の推移の結果を合わせて1980年代後半から1990年代における放牧負荷量と沙漠化進行の関係について分析を行なった。

3.3. 結果と考察

3.3.1. 画像の解析および考察

1. 時間的な変化

バインタラ地域における単位面積当たりの植被率を、5 時期の衛星画像データを用いて時系列的变化について解析した (図 3 - 4)。

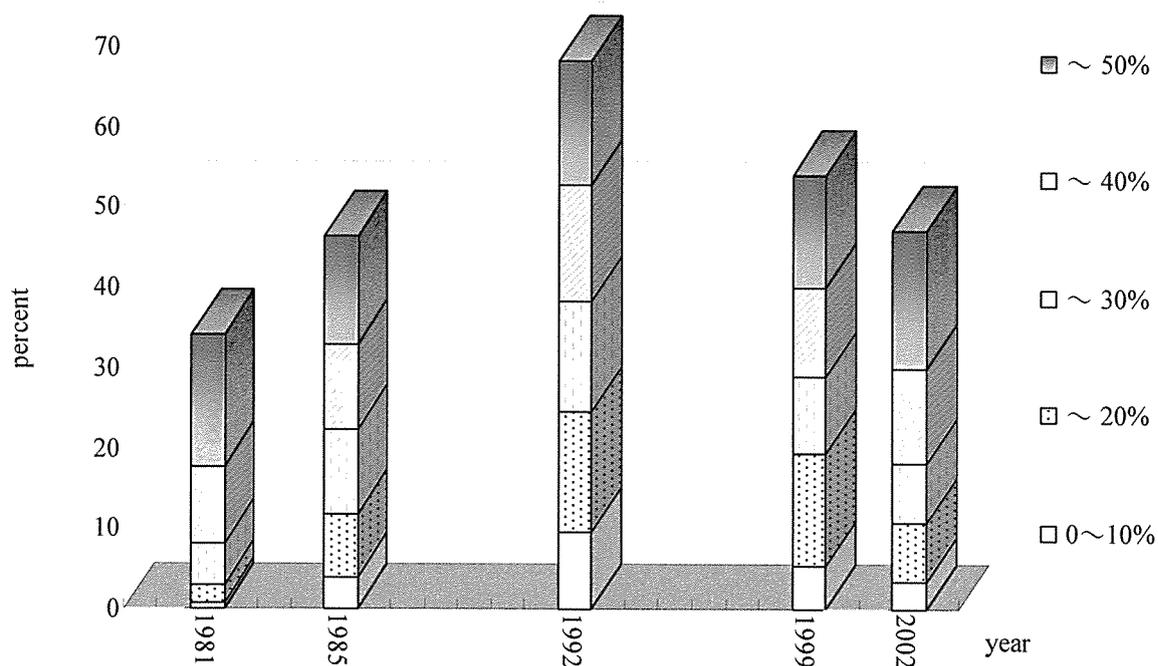


図 3 - 4 バインタラ地域における単位当たりの植被率 50%以下の面積の変化

バインタラ地域における植被率を、5 時期の衛星画像データを用いて時系列的变化について解析した (図 3 - 4)。

図 3 - 4 によると、植被率が 50%以下の面積は、1992 年にピークとなる。また、植被率が 0~10%の面積は、1981 年の 0.75%から、1985 年には 4.00%、1992 年には 9.50%まで増加し、その後、1999 年には 5.50%、2002 年には 3.50%まで減少した。植被率 11~30%は、1981 年の 7.25%から、1985 年には 17.80%、1992 年には 28.75%まで増加し、その後、1999 年には 23.50%、2002 年には 14.30%まで減少する。

1975年～2004年までのバインタラ地域周辺（バインタラ地域の南西約27.5 kmに位置するデイチンタラ町）の年間降水量を図3-5に示す。バインタラ地域周辺における年間降水量は、図によれば1982年～1986年の期間に増加傾向を示すが、この間沙漠化面積は増加している（図3-4および後述の図3-6 a～b）。1995年より降水量の減少傾向が見えるが、前述したように研究対象地域の沙漠化面積（疎植生域面積）も減少していることが衛星画像の解析で把握できた。このことより、バインタラ地域における降水量の変動が沙漠化に及ぼす影響は明確ではない。

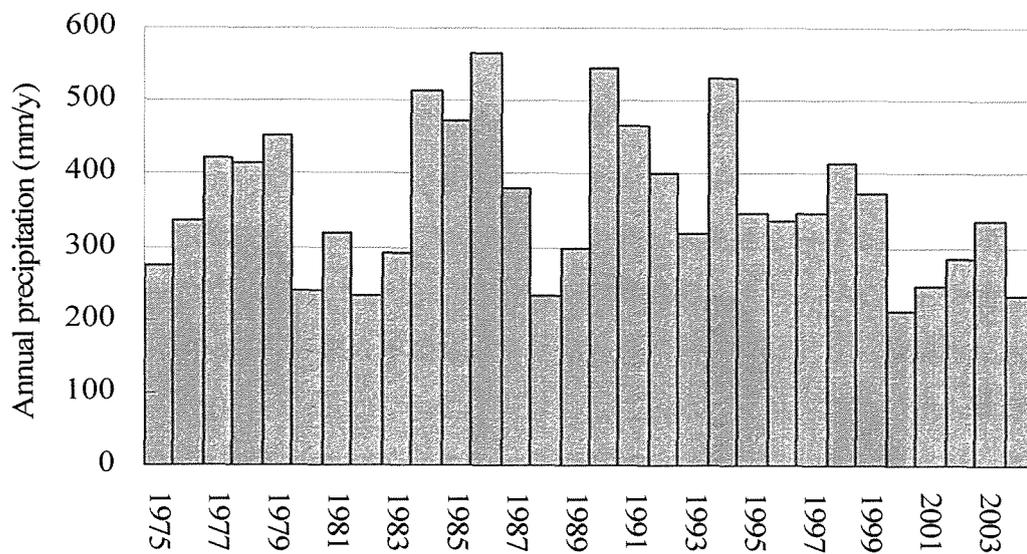


図3-5 バインタラ地域周辺における年間降水量の推移 1975年～2004年

2. 空間的な変化

研究対象地域における1981年～2002年の5時期の衛星画像より、各時期のNDVI画像を作成した。次に、現地踏査および2000年の土地被覆分類図（内モンゴル師範大学地理学院，2006）をもとに植被が可能な限りの確に抽出できるような各時期の閾値（表3-1）を求めた。そのうえに500 mメッシュで被い、各メッシュの植被率を図化した。結果を以下の図3-6(6 a～e)に示す。

バインタラ地域において、1958年～1987年まで約30年間で、沙漠化面積は33.3%から、70.5%まで増加したと報告されている（Dong, 1993）。また、中華人民共和国が成立してからの50年間に、バインタラ地域を含むホルチン沙地の沙漠化面積は前半期に増加し、後半期に減少傾向が確認されている（Zhang *et al.*, 2007）。1990年代に入ってホルチン沙地の沙漠化面積が減少傾向

にある（姚ほか，2002）という研究結果も報告されている．本研究では，衛星画像の解析により，バインタラ地域内における疎植生域面積は1981年から拡大し，1992年に最大となることが認められる（烏日樂瑪ほか，2008）が，全体的に増加している時期でも，ある小範囲では減少しているケースもあることが図から把握できる．バインタラ地域のJielidu村周辺に注目すると，1981年の植被率分布図（図3-6 a, Jielidu Village）で確認した疎植生域面積は1985年（図3-6 b, Jielidu Village）および1992年に減少（図3-6 c, Jielidu Village）しているが，全体的に見れば，1992年が沙漠化の最も進行した年である．さらに，この地域の沙漠化の縮小時期に当たる1999年（図3-6 d）には，元々沙漠化していなかった区域（Mandula Village）において，疎植生域が広がっていることが図3-6 dから読み取れる．すなわち，バインタラ地域では全体的に疎植生域が拡大してピーク時期に相当する1992年（図3-6 c）に，局部的に縮小している部分（図3-6 cのJielidu）もある一方で，疎植生域が全体的に縮小する時期である1999年（図3-6 d）において，局部的に疎植生域が拡大している部分（図3-6 d, Mandula）もある．このことから沙漠化は時間的な変化だけではなく，空間的に複雑な変化を示すことが確認できる．

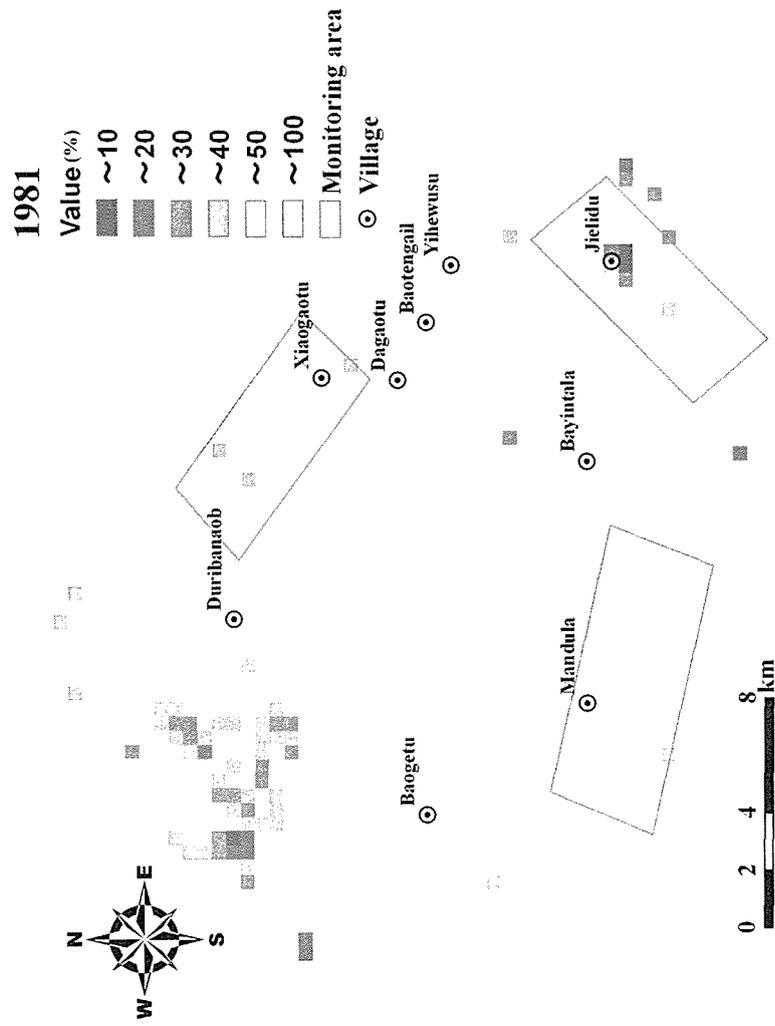


図 3 - 6 a 1981 年の単位面積当たりの植被率の空間分布

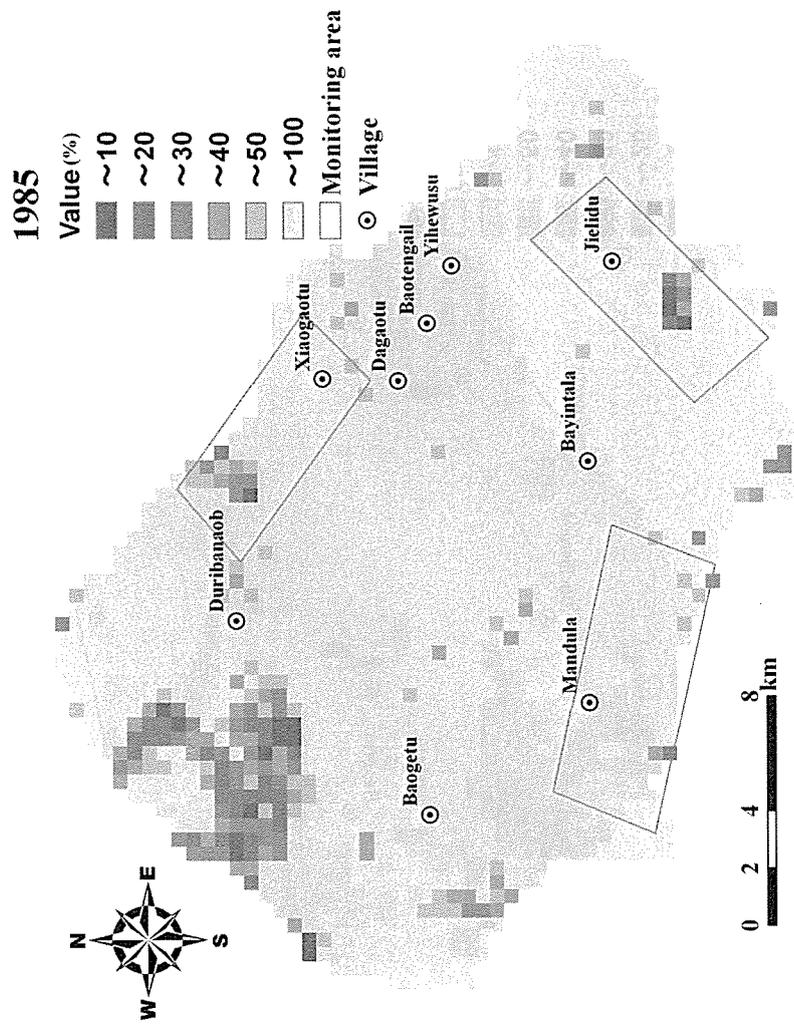


図 3 - 6 b 1985 年の単位面積当たりの植被率の空間分布

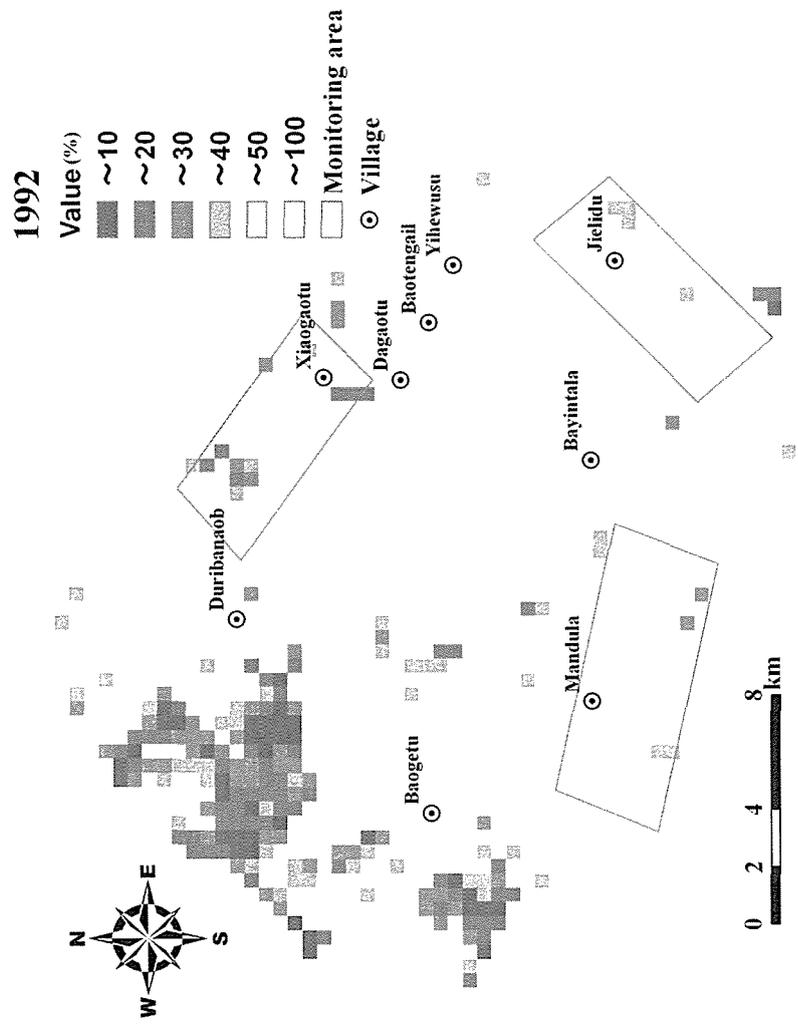


図 3 - 6 c 1992 年の単位面積当たりの植被率の空間分布

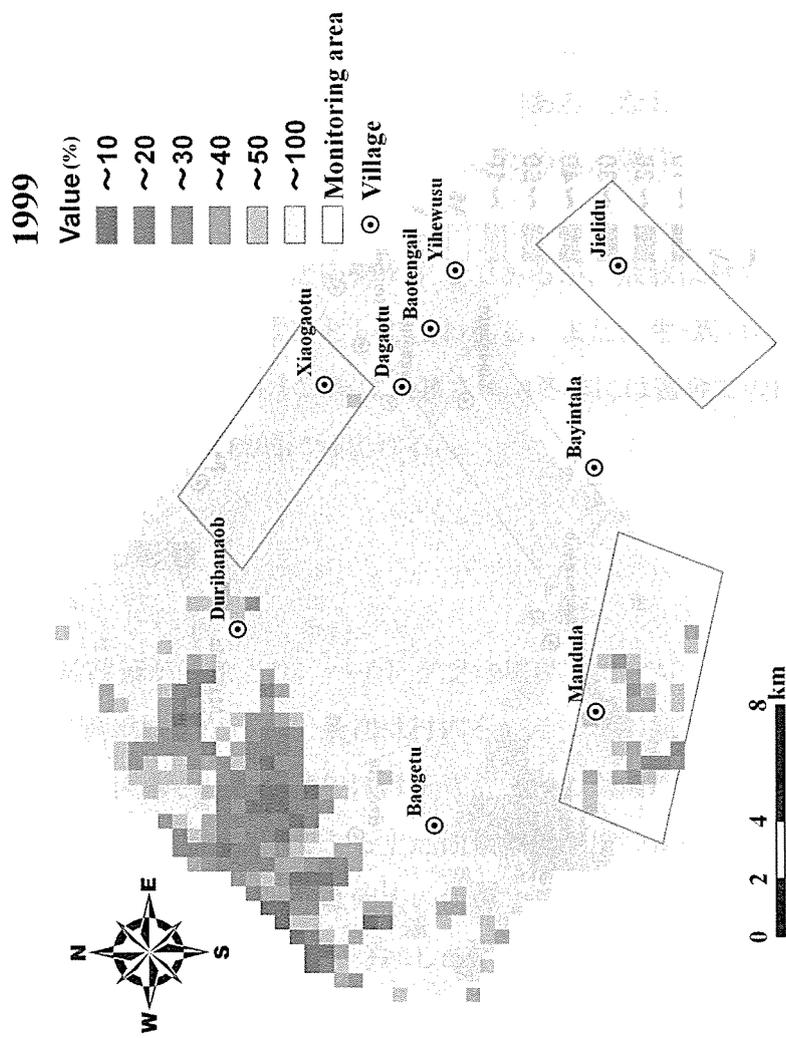


図 3 - 6 d 1999 年の単位面積当たりの植被率の空間分布

3.3.2. 結果と考察

1. 農耕と放牧の特徴

農業と牧業が混濁的に行われている地域においては、農耕と放牧の特徴を正確に把握する必要がある。農業区における家畜の飼養方式と牧業区における家畜の飼養方式には違いがあり、農業区における農耕と牧業区における農耕の経営方法も同一ではない。牧業区の家畜は定住して放牧するか、あるいは半畜舎（半年ほど畜舎で半年ほどは放牧により飼養）の飼養形態であり、牧業区の農耕は休耕（または輪耕ともいわれる）方式が中心である。なお、休耕とは養分を失い、痩せて収穫が得られなくなった土地の肥沃度を回復させるために、耕作をせずに土地を休ませることをいい、その土地を休耕地と呼ぶ。

農業区における家畜の飼養は柵で囲った畜舎が中心であるが、放牧は村の中心から外れた場所で行われる。そこは農耕不適地で、放牧場として使われる。また、牛・馬・ロバ・ラクダなどの大家畜は畜舎で飼育され、羊・山羊などの小家畜は放牧され、冬季には畜舎での飼育となる。農耕は休む（休耕する）ことなく、毎年継続的に営まれる。

2. 土地利用政策とその影響

1980年から中国は開放政策が開始され、バインタラ地域は内モンゴル自治区農業と牧業地域における開放政策実施の実験地域となった。最初は村内をいくつかの組合に分け、耕地や家畜は組合が使用・飼育する制度が実施された。翌年には正式な土地の請負契約制度が実施され、土地利用は組合から個人に移り、各個人の使用できる土地面積は肥沃度の違いにより調整する方法がとられた。具体的には、肥沃度の低い土地では個人の使用権面積を増加して調整するという方法である。農業区の耕地は肥沃度に応じてランク分けして、各ランクの面積を求め、それに人口割合を考慮して配分した。牧業区の耕地も人口割合に加えて、土地の肥沃度に応じて配分面積を定めた。痩せた土地の3畝（0.2 ha）は肥沃な土地の1畝（0.067 ha）と換算して個人に使用権が配分された。この政策の進行により、従来村が共用地として大切に管理してきた土地までもが、管理がおざなりにされ、個人的な使用が無秩序に行われるようになり、過耕作に伴う土地劣化が顕著にみられるようになった。

次いで、1985年より、バインタラ地域の牧業区において『草庫輪』の整備を奨励する政策が実施された。この政策は、沙漠化の可能性のある区域の周囲に鉄柵をめぐらして家畜の侵入を防ぎ、植物被覆率を維持し高める目的で実施された。『草庫輪』とは、周囲にめぐらす鉄柵のことで、そ

の整備は個人に請負させた。このため『鉄柵』ともいわれる。鉄柵で囲った区域では、植林や播種を積極的に行って植物被覆率の向上が図られた。鉄柵を設置した人にその土地の使用権が認められ、かつ鉄柵の設置によって得られる利益はその個人に帰することから、土地およびそこから得られる利益は少数の人々に集中することになった。また、鉄柵で囲まれた区域は、植物被覆率が增加して沙漠化が抑制されたために、この政策は表面的には沙漠化の抑制に効果が発揮できるとの期待が高まった。しかしながら、柵の外側の区域においては、放牧を含む人間活動がより一層活発化することとなった。このように、元々脆弱な環境において、草庫輪を導入することにより柵の外の草地にはさらに放牧負荷がかかることになり沙漠化が進行した。その結果、衛星画像による解析でも確認されたように、1990年代前期において沙漠化がピークになったと考えられる。このことは、インタビュー調査において村人からも指摘されている。すなわち、草庫輪という局所的に採用された沙漠化対策が、その隣接する域外の環境にどのような影響を与えるか、を事前に評価しないで施行されたために生じた沙漠化であるといえる。

1988年、政府は土地請負責任制度を一層強化した。その内容は、1981年に施行されて以来、土地請負契約の契約期間が曖昧であった点を改め、土地の個人使用権の契約期間を15年間と明確に定めたものであった。この改正により、村所有であった荒地・荒沙・林地も個人の請負責任方式が認められることになった。そのため、当該地域の人々に安心感が生じ、従来の利益を主に考える土地利用から、環境を保護しながら利益を得る土地利用へと大きな意識変化が生じた。使用権の契約期間が長期化（3年から15年間）したため、収奪的な土地利用が見直され、長期的な展望にたった持続可能な土地利用の重要性が認識されるようになった。1990年代後期における沙漠化防止の成果の背景には、この政策の改正に伴う住民の意識改善も少なからず寄与しているものと考えられる。

1993年には、当該地域の農・牧民に、土地請負契約政策の長期化を保証させるために、荒地の改良について請負人の「競売・譲渡・継承」を認めるという、土地の請負使用を行う農・牧民にとって歓迎すべき政策が施行された。

さらに、1996年には、15年間の土地使用権を15年間行使した後、同じ土地を継続して使用する場合、土地使用権が30年間認可されることに変更された。この場合、土地使用権の有効期間は1996年～2026年となる。この政策実施後、個人投資や団体などの請負による緑化が進展した。

続いて、1999年から『退耕還林・還草』政策が開始された。1990年代後半において、当該地の沙漠化の進行が抑制される傾向がみられるが、これは1990年代にとられた一連の施策の効果によるところもあると考えられる。

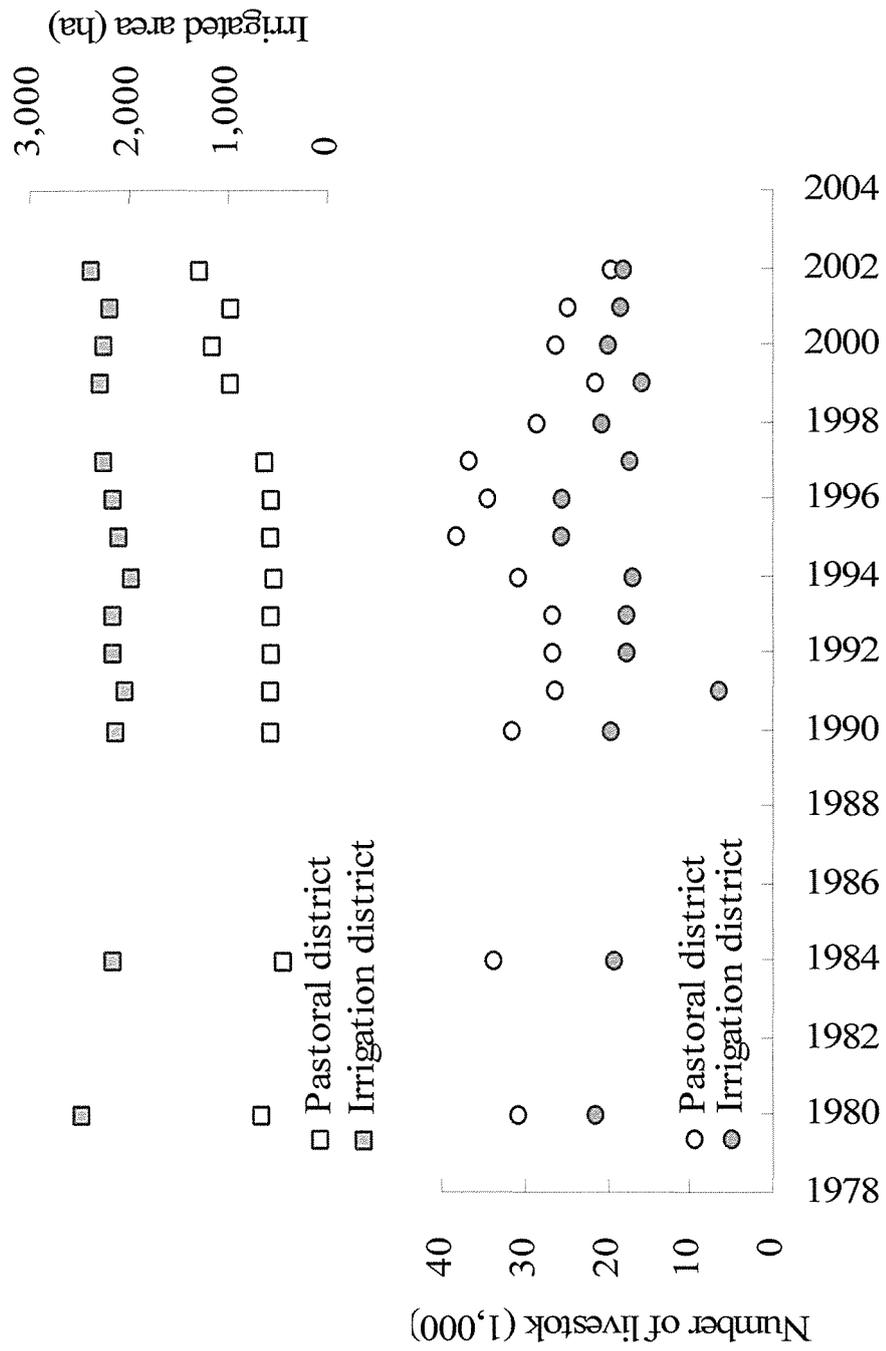


図3-7 バイ Tantra 地域における耕地面積と家畜頭数変化 (1975年～2002年)

3. 土地利用のメカニズム

図3-7に示すように、バインタラ地域における1979年～2002年までの耕地面積と家畜頭数変化より、1979年～1997年の間、農業区と牧業区の耕地面積は明確な変化が見られないが、1998年より牧業区の耕地面積は増加の傾向を示している。

前述のように農業と牧業の混淆した地域の牧業区における農耕の特徴は休耕方式である。すなわち、土壌が痩せているため、耕地は2～3年、長くても3～5年後には、収穫ができなくなる。そうなればその耕地では農耕を止め(休閑)、次の耕地へ移ることになる。土壌の表土は一旦触動(開墾)すれば、その後、元に戻すことは非常に難しい(木村, 2008; ブレンサイン, 2002)といわれており、このことから1979年～1997年の期間に牧業区における耕地面積が変化していないとは単にいい切れない。

疎植生域の生態環境は非常に脆弱であり、一旦植物被覆が破壊されると回復することは困難になるため、防沙・治沙することが非常に大切である(草原管理法, 1996)。また、バインタラ地域の土壌は農耕に適さないと指摘されている(奈曼旗志編委会, 2002)にもかかわらず、開墾し作付けを行っている。耕地が痩せて収穫できなくなれば、その耕地を休耕して新規に耕地を作るために、この地域の耕地面積は増えることになる。乾燥地域では、一旦表土が失われた場所では、植物に必要な水や養分を十分供給することができないので、植物の自然回復が困難になる(木村, 2008)。奈曼旗志編委会(2002)も、牧業区において養分を失い休耕地となった土地が自然に回復することは困難であると述べている。開墾された耕地についてのブレンサイン(2002)の研究では、次のように報告されている。開墾すれば30 cm深まで多年草の根が無くなってしまいが、黒色の土であればある程度の栄養分があるため、3年から5年ほどは農耕ができる。しかし、乾燥地の沙地では風が強くて、5年ほど経つと風化してしまう。そして、表土の下に沙状の土があり、それが出てくれば沙漠化が急速に進む。多年草が腐植してできた表土はひとたび開墾すれば、二度と回復しない。「数万年かけてできたモンゴル草原の表土は、草原の保護層である」(ブレンサイン, 2002)といわれている。過去において、農業と牧業混淆地域の牧業区では比較的水資源に恵まれ、土地が肥沃なオアシスのような地域が新耕地の候補地とされてきた。新耕地も耕作を開始して何年間かを経ると肥沃度が低下し休耕地となる。このような牧民による耕作形態を中国では「輪耕」と呼ぶ。輪耕と放牧は、両方とも乾燥地の沙漠化地域においてはより肥沃な土地を求めて移動する行動であるが、表土に及ぼす負荷は同等ではないと考えられる。すなわち、「放牧」は表土を保護する植物を通して間接的に表土に影響を与える。そして、家畜の排泄物が栄養分として土地に還元される。一方、「輪耕」は表土を耕起して作物を作るために、表土に与える影響は放牧より強

く、表土の風化を促す（ブレンサイン，2002）。

近年、バインタラ地域の牧業区では、新耕地とすべき比較的肥沃な土地はなくなり、ここ数十年のサイクルで休耕地が新耕地として繰り返し使われている。加えて、牧業区はもともと保水力が弱く痩せた沙質土であるため、短いサイクルでの輪耕による過耕作は土地の沙漠化に拍車をかけてきたと考えられる。

4. 放牧負荷量と沙漠化の関係

現在のバインタラ地域における牧業は、土地の水分や養分が失われて、農耕では収穫が得られなくなった痩せた地域で放牧が行われている。本地域は元来自然環境が脆弱であり、少しでもよい条件のところで農耕を行うために、一段と条件の悪い地域で放牧が行われ、ますます脆弱な自然環境にしてしまうという悪循環が形成されることとなる。

図3-7に示すように、バインタラ地域においては、1990年代半ばをピークに、以降家畜頭数が減少傾向にある。このことはバインタラ地域の牧業区において、土地の沙漠化が深刻化したため、その対策として放牧が季節的に禁止され（その時期には半畜舎・畜舎での飼育）たり、家畜頭数を制限する制度が導入されたことに起因すると考えられる。筆者らは、持続的な放牧負荷量を、(1)式に1ha当り平均牧草生産量1,275kg/haと内モンゴル草原管理局の求めた綿羊の年間食草量（生草重量換算）1,500kg/綿羊（草原養畜基準，出版年不詳）を適用して計算した。その結果、バインタラ地域の西北地域における持続的な放牧負荷量は0.85綿羊/haと算出された。しかし、実際には、当該地域の植被率が低く牧草が貧弱であるため、持続的な放牧負荷量は0.78綿羊/haを超えてはならないとされている（奈曼旗志編委会，2002）。

一方、家畜負荷量の計算式(3)を用いて、バインタラ地域のある標準的な放牧場全体における、1980年～2002年の牧業区の放牧負荷量を求めた（1981年～1983年，1985年～1989年はデータ欠落のため、算定せず）ところ（図3-8）、平均0.95綿羊/haであった。また、この中で放牧負荷量が最も大きかったのは1995年の1.24綿羊/ha年である。しかしながら、この値はDong(1993)により報告されたバインタラ地域のある牧業村における1986年～1988年の平均負荷量1.72綿羊/haと比較するとあまりにも低い値である。

バインタラ地域では、農業区の農民が所有する家畜（小家畜の綿羊と山羊）を牧民に依頼して牧業区で飼養することが多々見られる。ここで、仮にバインタラ地域の全ての家畜を牧業区の放牧場（1980年～2002年まで）で飼養すると仮定して負荷量（農業区の家畜頭数と牧業区の全ての家畜頭数の和を放牧場面積で除したもの）を計算すれば、平均1.07綿羊/haとなり、計算上の

持続的な基準放牧負荷量平均値（0.85 綿羊/ha）の約 1.3 倍となる。また、1995 年には放牧場の負荷量は 1.43 綿羊/ha（持続的な放牧負荷量の約 1.7 倍）となり、Dong（1993）の求めた値との整合性がかかなり高くなる。このことから、バインタラ地域では農業区の家畜の多くが牧業区の放牧場で飼養されていることが伺われる。さらに、バインタラ地域の砂漠化がもっとも深刻な 1992 年において、農業区の Jielidu 村周辺の砂漠化が後退（疎植生域が縮小）（図 3 - 6 c, Jielidu）していることの一因として、この請負飼育の実態が寄与しているとみることができる。以上のことから、バインタラ地域においては、家畜頭数が空間的に集中して持続的な放牧負荷量を超えることも砂漠化進行の一因と考えられる。

次に、1985 年の衛星画像（図 3 - 6 b）で初めて確認された（81 年の画像では不明瞭）疎植生域（小ゴートが中心の地域）を対象に、実際に飼育されている家畜頭数より当該地域の放牧負荷量を求めた。この新たな砂漠化進行地域は、小ゴート村（Xiaogaotu Village）・イヘウス村（Yihewusu Village）・ポータンエーラ村（Baotengail Village）・大ゴート村（Dagaotu Village）の 4 村が共用する土地であり、放牧場として多くの人に利用されていたが、管理が不十分であった。大ゴート村の放牧場面積が把握できなかったため、大ゴート村を除く、3 村の家畜頭数と放牧場面積を用いて、放牧負荷量を算出した（図 3 - 8）。その結果、22 年間の平均放牧負荷量は約 1.77 綿羊/ha であり、最も放牧負荷量が高かったのは 1980 年で、2.73 綿羊/ha であった。この放牧負荷量は当該地域における放牧場の持続的な放牧負荷量の平均値（0.85 綿羊/ha）の約 3.2 倍に相当する。また、農業区の大家畜は放牧場飼育ではなく畜舎飼育であることから、大家畜を除いて計算した結果は、1980 年から 2002 年までの放牧場の負荷量は平均 1.05 綿羊/ha で、最も高かった 1980 年には 1.93 綿羊/ha となり、当該地域の持続的な放牧負荷量の平均値（0.85 綿羊/ha）の約 2.3 倍であった。

1980 年代初頭から改革開放政策が実施され、経済収入を高めることに最大の関心が集まり、開墾の実施や家畜の導入が計画性もなく無秩序に行われた。さらに同年代の半ば頃から、この地域では前述のように、村所有の共用地が競って個人的に使用され、管理が軽視された。上記 4 村においても同様で、ずさんな管理と勝手な土地利用により共用地はさらに悪化した。聞き取り調査によれば、この時期の 1 世帯当たり家畜頭数は 1990 年代の 1.5 倍程度と多かった。また、この時期のこれらの村々の砂漠化の深刻さを物語る出来事としては、1986 年に小ゴート村の 20 世帯が家畜とともに離村したことが挙げられる。これは実に人口の 20%が村を出、同時に家畜も 20%程度一度に減少したわけであり、村にとっては劇的な変化で砂漠化に起因する自発的環境移民であったといえる。この出来事からも、当時のこの地域の砂漠化に伴う植生の減少と牧業経営の悪化の状況をうかがい知ることができる。1985 年頃の疎植生面積の拡大（図 3 - 6 b）は、これらの事情とも符合する。

次に、バインタラ地域における全体的な疎植生域が減少傾向にある 90 年代後半に、新しく沙漠化傾向がみられるマンドーラ村 (Mandula Village) の家畜頭数について分析を行った。この村の 1980 年 ~ 2002 年における放牧負荷量(図 3 - 8)の平均は 1.20 綿羊/ha であるが、1994 年 ~ 1997 年には家畜頭数が増加し、1997 年に放牧負荷量は 1.66 綿羊/ha と最高値を示した。この値は持続的な放牧負荷量をはるかに超過することから、村の土地は放牧負荷に耐えられなくなり、家畜頭数を制限する対策が 1999 年から開始された (図 3 - 8)。しかしながら、過去数年続いた過放牧の影響が継続し、この地域では 1999 年における疎植生面積の拡大 (図 3 - 6 d) が見られたと考えられる。筆者らは、バインタラ地域の一般的な生活水準を維持する上で必要な、牧業区における家畜頭数と放牧場面積を試算した。牧業区においては、農耕を行わず家畜だけを飼って生活する場合には、1 人で 15 綿羊 (聞き取り調査では 15 綿羊以上) が必要とされている。この頭数をベースに計算した結果、本牧業区における人口は約 3,000 人で、44,790 頭の綿羊を飼う必要があり、そのためには 35,830 ha の放牧場が必要となる。しかし、バインタラ地域の牧業区の面積は 31,068 ha しかないため、この面積に収容可能な人口は最大で 2,600 人となる。バインタラ地域には新規に開拓可能な面積はないことから、この地域における人口は 2,600 人以内に抑えるべきであろう。このことから、バインタラ地域における持続可能な発展を実現するためには、適切な人口政策を基幹にして、農・牧業活動を地域の土地資源の能力範囲内に制限し、新たな産業の導入も視野に入れた総合的な土地・環境保全対策を構築していくことが重要と考えられる。

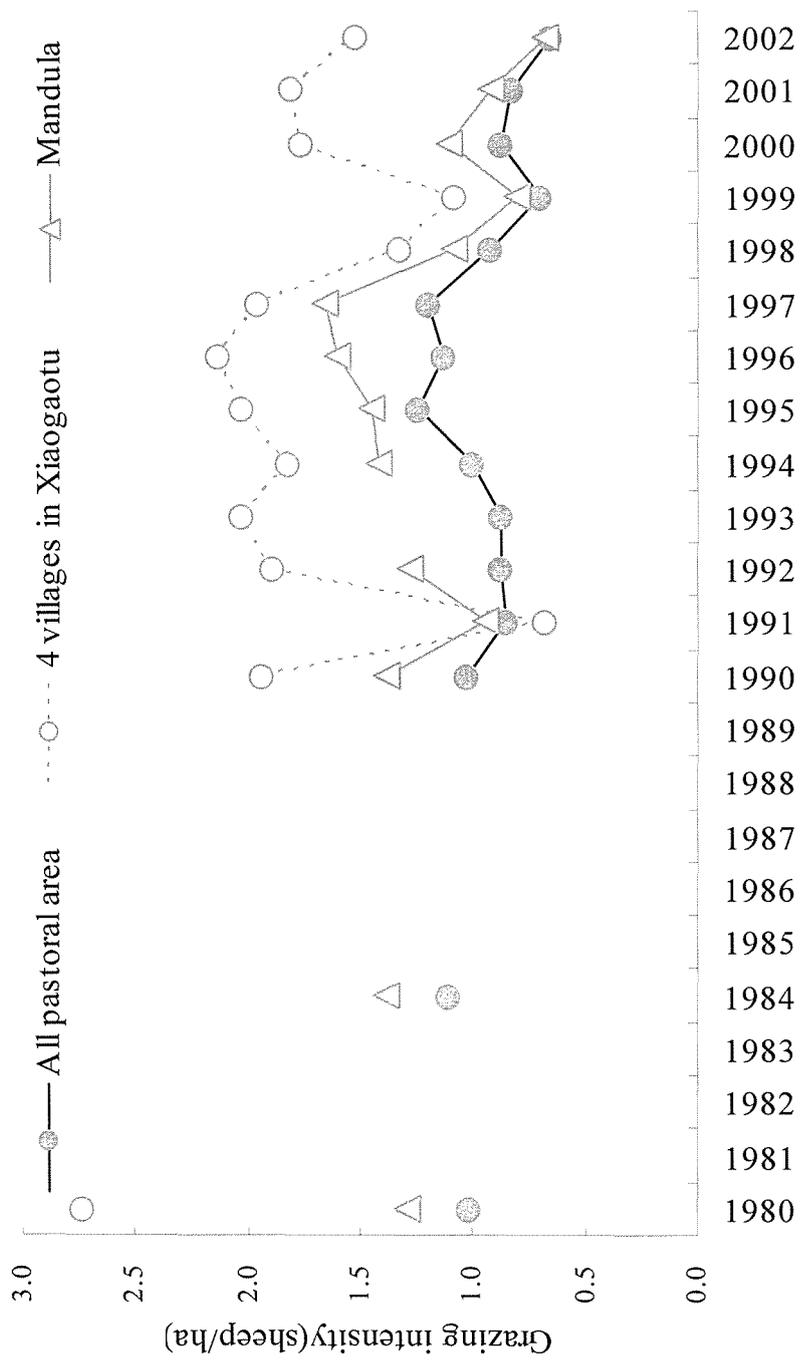


图 3-8 放牧负荷量 (1980 年 ~ 2002 年)

3.3.3. 総合考察

バインタラ地域における沙漠化の進行状況について、時系列衛星画像を用いて解析した上で、沙漠化面積の時間・空間的变化を把握し、その変化に影響を及ぼす要因として自然因子（降水量と風力など）について考察を行った。さらに、人為的な因子（農耕と放牧における土地利用のメカニズムおよび土地利用政策など）に関する資料を収集し、それらの沙漠化に及ぼす因果関係についても分析を行い、以下のようなことを定性的に明らかにした。本地域では、降水量が少なく表土が薄いのに加え、可能蒸発散量が最も多い春季に降水量が最少となり、かつ大風が集中するなど、自然の様々な悪条件が春季に重なるために沙漠化が起りやすい。加えて輪耕の繰り返しにより表土が破壊され、そのうえに休耕中の土地は放牧場として利用される。つまり、痩せた土地は休耕されるが休牧されないためますます疎植生化し土地が退化する。さらに、この地域の灌木は薪炭材として過剰に伐採されるため、表土は回復不可能なまでに破壊される。また、「草庫輪」に見られる極端な局所的な土地保全政策による保護区域周辺の沙漠化や、土地管理体制の変化による粗放な土地利用の拡大などの複合的相乗作用により沙漠化が促進されてきたと考えられる。脆弱な土地であるだけに、土地利用政策の成否が敏感に地域の沙漠化土地の消長にも現れることも確認された。したがって、土地利用政策の策定においては、その影響評価を慎重に行い、全体的に効果の上がる政策を採用していくことが重要である。

3.4. まとめ

バインタラ地域における 1981 年 ～ 2002 年までの 5 時期の衛星画像を解析し、1992 年頃が沙漠化のピーク時期に相当することが確認できた。地域的には東南から西北方向に沙漠化面積が増加していることと、局所的に減少している地域もあることが把握できた。

バインタラ地域の沙漠化について、農耕・放牧等の人間活動に加えて、土地利用政策の施行に伴う影響について分析と考察を行った。特に、沙漠化が地域の全体的傾向と異なる小ゴート村（Xiaogaotu Village）とマンドーラ村（Mandula Village）に注目し、家畜と耕地面積の変化を基に分析を行った。その結果、この地域の沙漠化に主な影響を与えているのは、もともと脆弱な自然環境のもとでの輪耕、過放牧に加えて、沙漠化対処のために導入された土地利用政策が思惑通りに運ばなかったこと等である。

2008 年 7 月に行った現地調査より、対象地域では水資源がひっ迫しており、当該地域の人々の生活や農業と牧業地域の正常な運営に大きな脅威となっていることが分かった。かつ、近年この地域において連続的に旱魃が生起し、また地下水位が急速に低下している。この状況は、地下水しか頼る水資源がないこの地域の人々に、大きな不安を与えている。このまま地下水位の低下が続けば、沙漠化はますます進行し、地元の人々の生活に重大な影響が及ぶことが予想される。このことから、バインタラ地域においては沙漠化対処に行政サイドと住民が一体となって取り組み、自然生態系と調和のとれたものに軌道修正していく必要がある。中でも水資源は住民の生活を脅かす最も深刻な問題であり、緊急に解決すべき重要課題と考えられる。

引用文献・主要参考文献

1. 今川俊明・大黒俊哉・白戸康人・谷山一郎・藤原英司・石敏 俊 (2000) : 中国内モンゴル自治区奈曼旗における放牧区の推定と砂漠化防止対策効果, 「地球環境」 5 (1,2 合併号) 3 - 8.
2. 内モンゴル師範大学地理学院 (2006) : 奈曼旗土地被覆分類図.
3. 烏日樂瑪・湯谷享泰・長澤良太・北村義信・清水克之(2008) : 時系列衛星データを用いた中国内蒙古バヤンタラ地域における植被率変動の解析, 平成 20 年度日本沙漠学会大会.
4. 木村玲ニ(2008) : 『山本太平編 : 乾燥地科学シリーズ 3 乾燥地の土地劣化とその対策』, 古今書院 : 34.
5. 厚福興著 (1992) : 内蒙奈曼旗沙地草原植被退化及其防治途径, 「中国沙漠化」 : 12 (2).
6. 朱震達・王涛 (1990) : 以若干典型地区的研究对近十余年来中国土地沙漠化演变趋势的分析, 「地理学報」 45 (4) : 430 - 440.
7. 曹军・吴绍洪・杨勤业 (2004) : 科尔沁沙地土地利用与沙漠化, 「中国沙漠化」 24 (5).
8. 草業法規選編 (1993) : 『草業法規選編』, 新華出版社出版発行 : 271 - 272.
9. 中華人民共和国草原法解釈 (第 67 条) :
(http://www.34law.com/lawfg/twsy/68/twsyfile_5000.shtml).
10. 草原養畜基準 (出版年不詳) : 『内蒙古草原管理站内部資料』 170 (未公開).
11. 姚洪林・閻德仁・楊文武・劉永軍 (2002) : 「内モンゴル沙漠化の土地の動態変化について」, 『内モンゴルの草原荒漠化とその防止対策研究』 : 1 - 16.
12. 董玉祥 (1993) : 沙漠化地区农业生态系统的分析——内蒙古奈曼旗巴音他拉为列, 「中国沙漠化」 13(2): 39 - 46.
13. 奈曼旗当案局管理局の統計資料 (1980—2006) : 奈曼旗当案管理局統計資料未だに未公開.
14. 奈曼旗氣象管理局内部資料 (1979—2006) : 奈曼旗氣象管理局内部資料未だに未公開.
15. 奈曼旗志編委会 (2002) : 『奈曼旗志』 方志出版社 : 100 - 235.
16. 奈曼旗水務管理局資料(2007) : 地下水位觀測データ.
17. ブレンサイン (2002) : 農地化から沙漠化へ. 「特集 2◎多様化の進むモンゴル世界」.
18. 山本太平(2008) : 『山本太平編 : 乾燥地科学シリーズ 3 乾燥地の土地劣化とその対策』, 古今書院 : 34.
19. 通遼市水務管理局資料(2004) : 「通遼市水土資源规划」 報告 (内部資料).
20. Dong Y.X. (1993): Study on of agro-ecosystem in desertified area, Journal of Desert Research, 13 (3) : 39 - 46.
21. Hao H.L., Zhou R.L., Hang T.H., Hao X.Y. (2004): Statistical Properties of Vegetation and its

- Relationship with Desertification in Hortin Sandy Land, *Journal of Desert Research*, 24 (3) : 274 - 278.
22. He Z.Y., Huang X (1994): Disastrous weather and agriculture in the land Desertification area of Naiman Inner Monolia, *Journal of Arid Land Resources Environment*, 8 (3) : 58 - 67.
 23. Liu S.L., Wang T., An P.J. (2004): Study on Human Activities in the Process of Lang Desertification, *Arid Land Geogaphy*, 27 (1) : 52 - 56.
 24. Shen J.Y., He Z.Y., Li S.G., Wang T.L. (1993): Study Microclimate of Desertied Land in Naiman Area, *Journal of Desert Research*, 13 (2) : 44 - 51.
 25. Wang T., Wu W., Zhao H.L., Hu M.Ch., Zhao A.G. (2004): Analyses on driving factors to sandy desertification process in Horqin Region, Chian, *Journal of Desert Research*, 24 (5) : 519 - 528.
 26. Zhang Q.F., Li Zh.Sh., Wang T. (2007): Agriculture-Stock production in agro-pastoral Interlaced region in northern China:II basic data and model application, *Journal of Desert Research*, 27 (1) : 40 - 45.
 27. Zhang Y.M., Zhao S.D. (2003): Land use and landscape change under ecological protection in Naiman Banner, *Resources science*, 25 (1) : 43 - 51.

第4章

中国・洛恵渠灌区における農地の塩類化 とその対策の効果に関する考察

4.1. 概 説

半乾燥地に属する中国・陝西省の洛恵渠灌区では1950年の通水開始以来、綿、小麦、トウモロコシを中心とした畑作が行われており、近年では果樹・野菜の栽培が増えている。本灌区は灌漑システムの運用開始以来、農地の塩類化の問題に直面しており、これまでにさまざまな対策が採られてきた。そこで、本研究では灌漑排水事業の推移、営農指導による塩類化対策、および各時代の社会経済的背景などが灌区の水利用や地下水位の変動、ひいては、塩類化農地面積の変動に与える影響と、特に塩類化対策事業の効果について分析と考察した。

4.2. 調査対象灌区の概要

洛恵渠灌区（北緯 34°45′ ~ 35°03′，東経 109°28′ ~ 110°08′）は1950年に完工し、灌漑施設が整備された。灌区は洛河を境に洛東区と洛西区に分けられており、総面積 7.5 万 ha のうち、灌漑面積は 5.2 万 ha である。図 4-1 に洛恵渠灌区の概要を示す。灌区は黄土に覆われた丘陵と高原により形成されており、土壌の透水性は $1.83 \times 10^{-3} \sim 6.57 \times 10^{-5} \text{ cm s}^{-1}$ と高い。年平均気温は 13.3 °C、年間の降水量および計器蒸発量は、それぞれ 500 mm、1,700 mm 程度である。主要作物は綿、秋蒔き小麦と、小麦収穫後のトウモロコシを中心とした畑作であり、近年では果樹・野菜の栽培が増加している。灌漑は洛河から導水した地表水に加えて、後述するが、地下水にも依存しており、主としてボーダー灌漑、畝間灌漑が行われている（烏日樂瑪ほか，2007）。

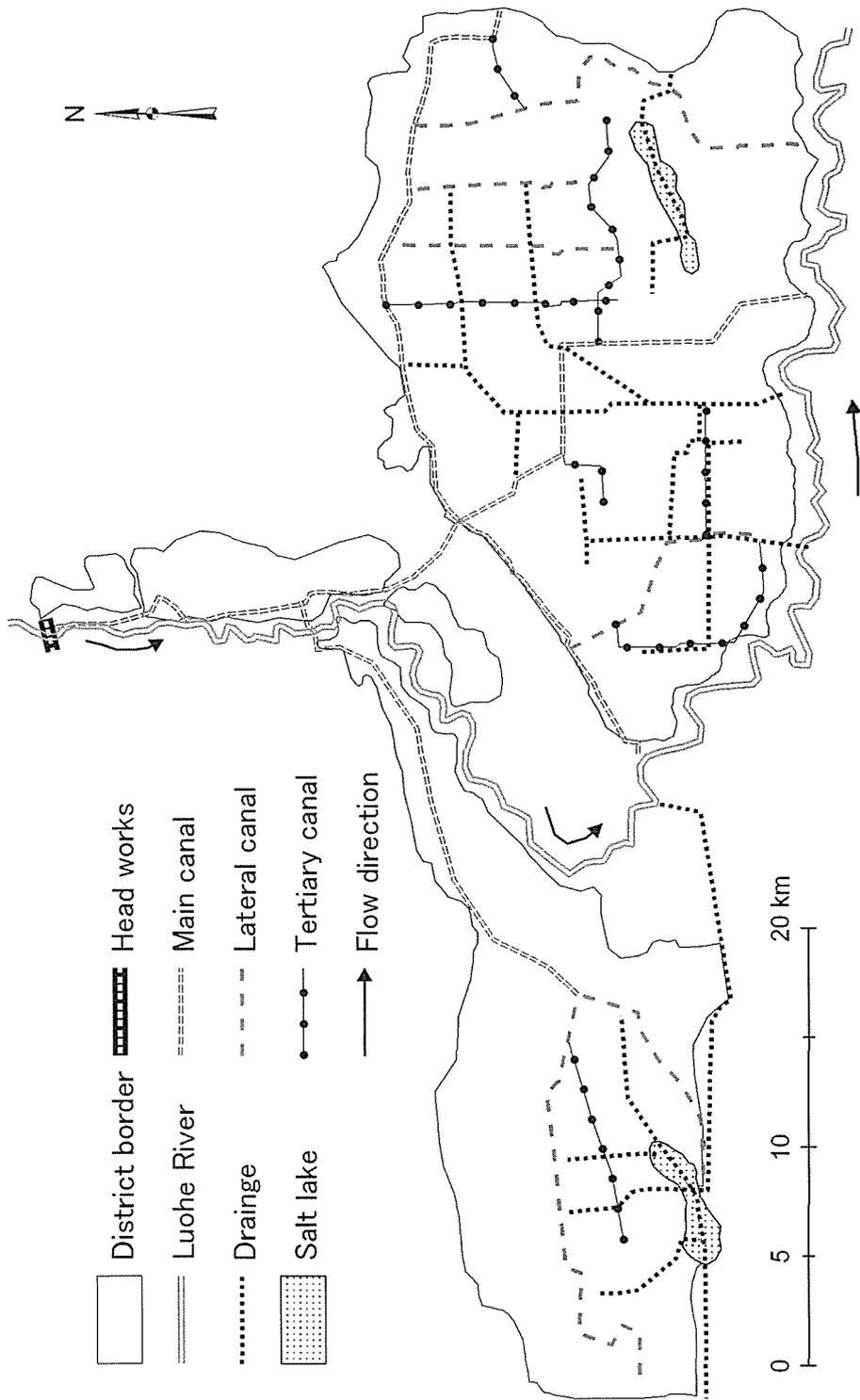


图 4 - 1 洛惠渠灌区概要

4.3. 農地開発と塩類化状況

4.3.1. 農地面積の推移と作付け状況

洛恵渠灌区では、基幹灌漑施設の整備が完了した1950年から1980年までの30年間に、5,200 haから10倍の52,000 haまで農地の整備が進められた。図4-2に灌区の主要作物の作付面積と延べ作付面積を示す。図に示すように、1950年から1960年までと、1971年から1981年までにかけて農地面積が大きく増加している。また、灌区では秋蒔き小麦が春に収穫された後、トウモロコシが栽培される。全体の平均を見ると小麦作の後、収穫面積の約7割でトウモロコシが栽培される。特に、1970年代の後半はトウモロコシの栽培面積は大きく、灌区の延べ作付面積は最盛期で81,000 haであった。

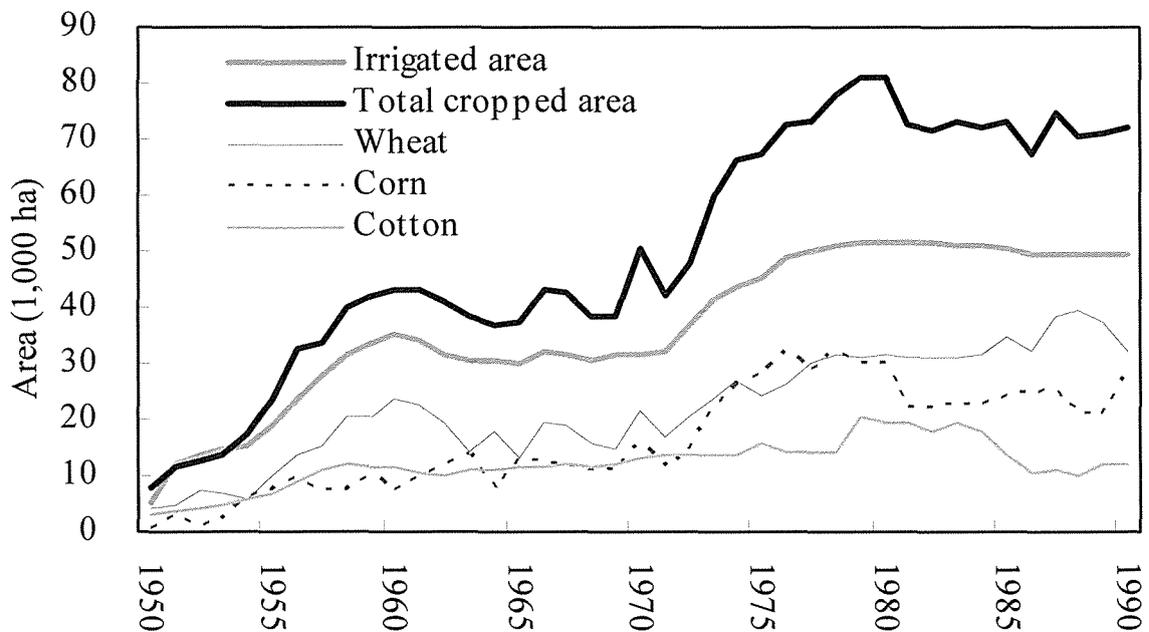


図4-2 主要作物面積の推移（1950年～1990年）

4.3.2. 農地塩類化の進行

本灌区において農地の塩類化は開発当初より問題となっており、1960年まで増加し、灌漑農地の約10%が塩類化農地となった。図4-3に塩類化の程度を Slight, Severe, Non-cultivable の3段階に分類した塩類化農地面積の推移を示す。塩類化農地面積の増減だけでなく、農地面積に対する割合、さらに塩類化程度の割合の変化を考慮すると、1960年～1961年、1975年～1978年では塩類化農地が改善されたと解釈できる。塩類化農地面積が減少している年はほかにもあるが、Non-cultivable や Severe の割合が高くなるなど必ずしも改善されているとは言いがたい。1968年～1972年の間は文化大革命の影響によりデータが存在しない。

本灌区における農地の塩類化の主要因は、過剰な灌漑による地下水位の上昇、塩類濃度の高い地下水の灌漑利用、排水不良等に起因すると報告されている (Solomon *et al.*, 2005)。

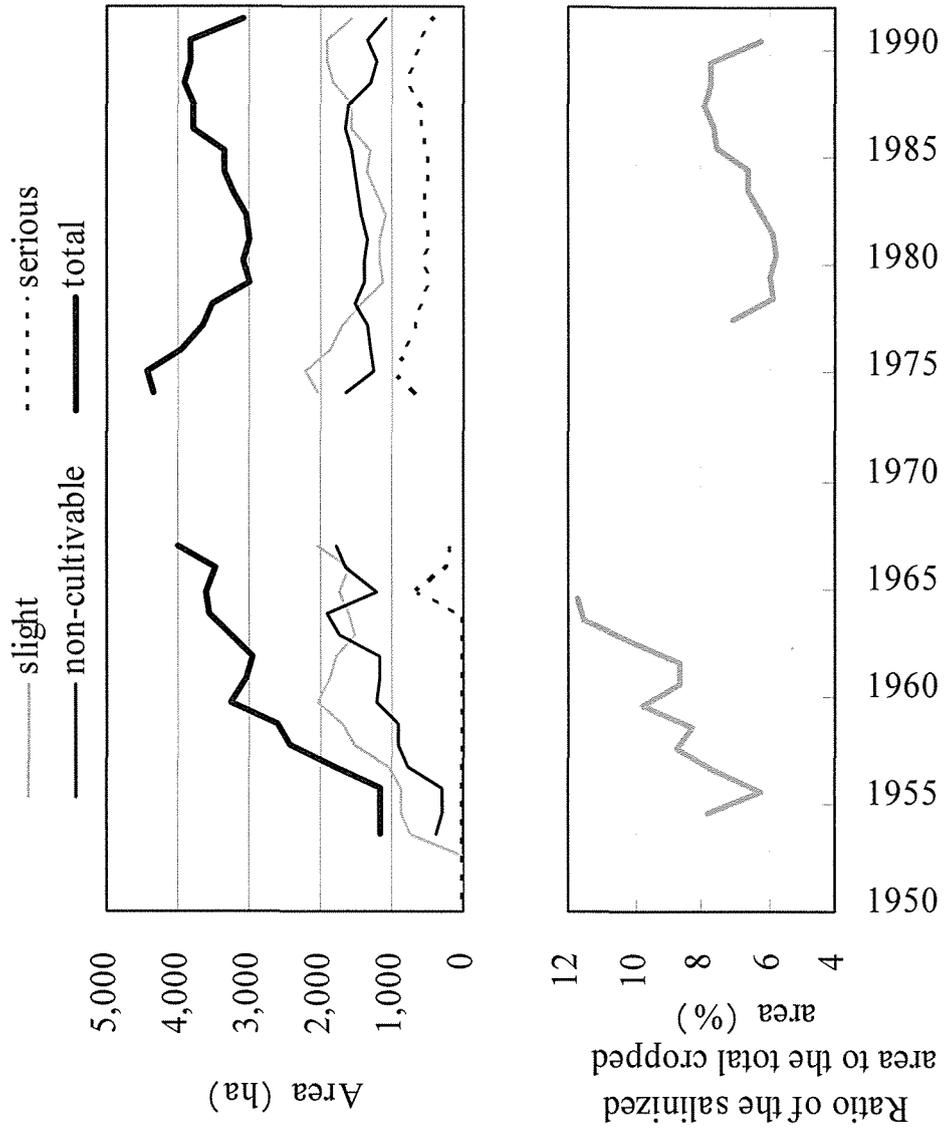


図 4 - 3 塩類化農地面積の推移 (1950 年 ~ 1990 年)

4.3.3. 灌区の河川取水量

灌区における年間の河川取水量および降水量を図4-4に示す。多雨年を除けば、1950年代から1960年と1970年代から1980年にかけての耕作面積の増加に伴い、取水量も大きく増加している。この河川取水量を灌漑面積で除して水深換算したものを図4-5に示す。図中の実線は河川灌漑水量の推移を5年移動平均で表している。図に示すように、1950年代の灌漑水量は600～800mm程度で推移していることに比べ、1960年の1,060mmをピークに1965年までに灌漑水量は300mmに大幅に減少し、1970年代では500mm程度、1980年代では350mm程度で推移している。この灌漑水量の変化の要因は、灌漑必要水量の見直しが大きく影響している。これについては、次章で詳述する。

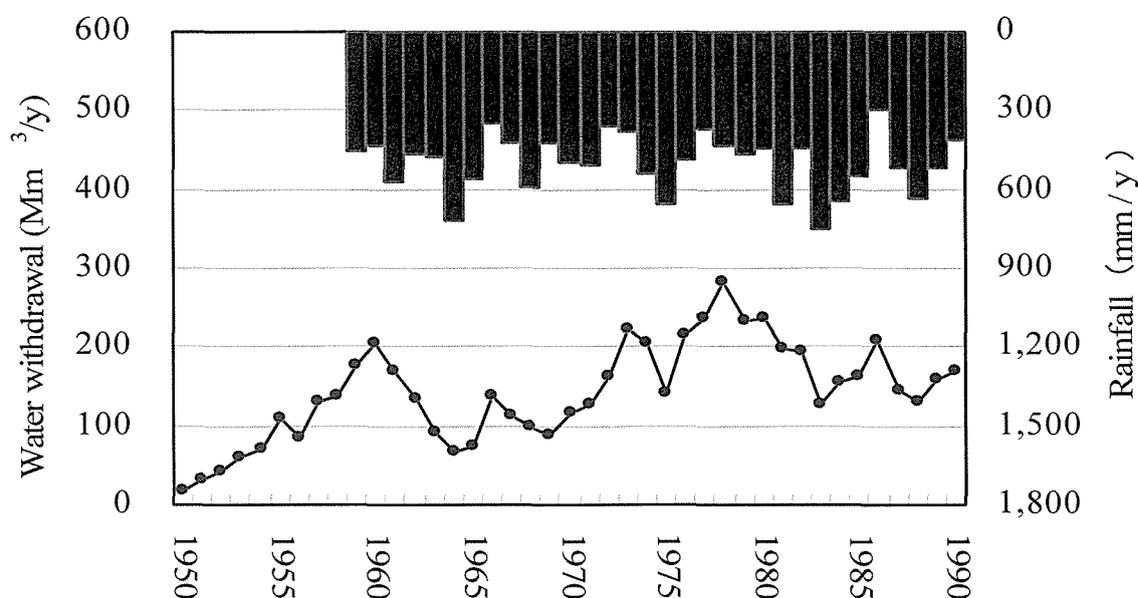


図4-4 年間河川取水量と降水量の変動(1950年～1990年)

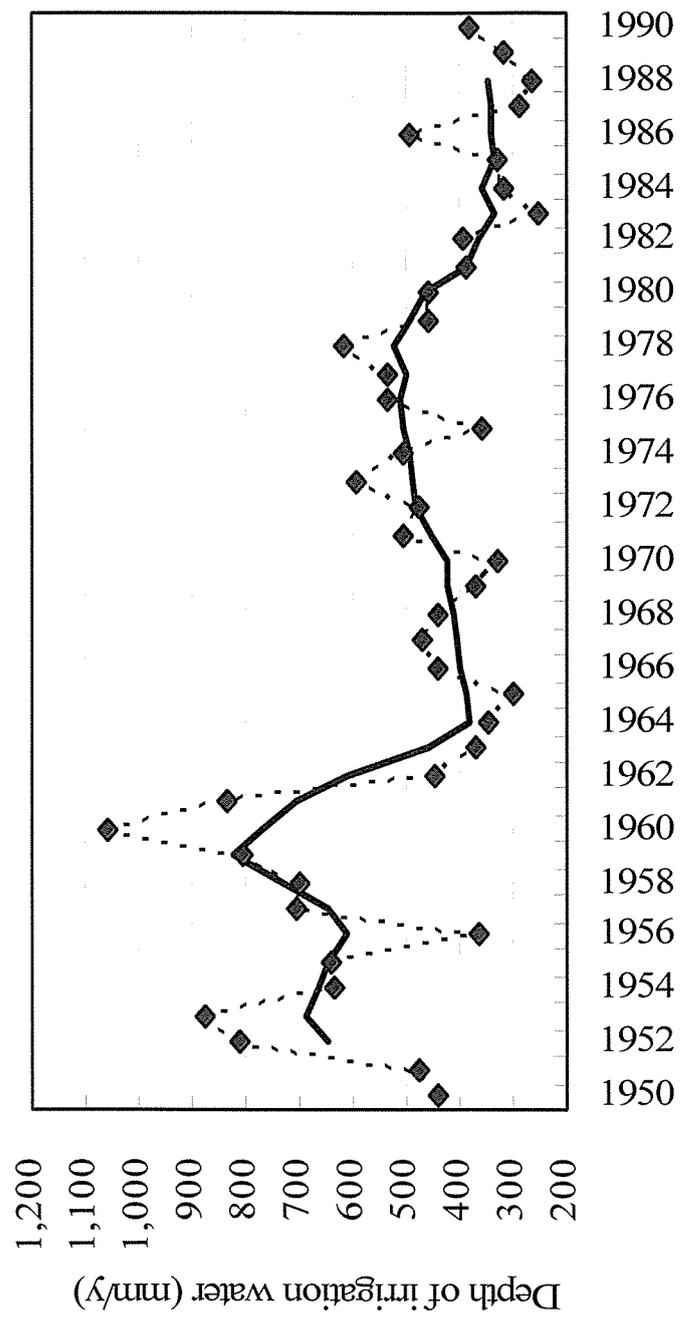


図 4 □ 5 河川灌漑水量と 5 年移動平均

4.4. 塩類化対策とその効果

4.4.1. 灌漑必要水量の見直し

灌区における農地の塩類化の要因の一つには多量な灌漑による地下水位の上昇が挙げられる。多量な灌漑は、適正な作物必要水量が設定されていなかったことや低い圃場適用効率に起因している。事実、前者については、1950年代後半には「多量な灌漑により多収が得られる」といった誤った営農指導が行われた記録（洛恵渠志編纂委員会，1995）がある。この問題を是正するため、後に灌漑方法、土壌や地下水位に応じた適正な灌漑必要水量の基準が設けられた。この基準は1950年代に行われた実験や農家の経験を基にして修正されてきた。たとえば、1953年夏季に綿の計画灌漑水量が決められた。1956年には豊水年、平水年、渇水年に応じた綿と小麦の計画灌漑水量が決定された。1959年には、洛恵渠灌区管理局で小麦、綿、トウモロコシの計画灌漑水量が決定された。その後、1960年から1964年にかけて毎年計画灌漑水量は修正されてきた（洛恵渠志編纂委員会，1995）。

また、ボーダー灌漑による低い適用効率を改善するために、1953年～1958年にかけては畝間灌漑の導入、圃場区画の小型化（長辺長200～300mを約半分に短縮）などの対策が進められた。1959年には、地下水位が地表面下2.5mより高い過湿害（ウォーターロギング）の恐れのある農地については、地下水位により農地を4つの危険度に分類（0～1.0m, 1.0～1.5m, 1.5～2.0m, 2.0～2.5m）し、それ以上地下水位を上げないように個々の農地に対して灌漑水量の基準を設けた。なお、当初地下水位が地表面下1.0mより高い農地は全灌区の17.6%に及んだ。1966年には圃場の長辺長を短縮することにより、灌水量を16%～43%削減することができたと報告されている（洛恵渠志編纂委員会，1995）。

1980年には見直した計画灌漑水量を農家に遵守させるべく、洛恵渠管理局は末端の灌漑管理を強化し、節水を励行するとともに、計画灌漑水量を大幅に上回る水量を灌漑する農家には配水をしなぬ処罰を定めた。また、適用効率をより高くするため、長辺長をさらに短くして70～100mに、短辺長は3mとする圃場区画を適切な圃場規模として整備する旨指導が行われた。この基準は現地試験場での研究結果から得られた基準であり、灌漑効率を高めるために当時の平均的長辺長200mを半分以下にするように指導された。一方、短辺長については灌漑効率とは関係なく、作業効率上、農機具の幅の整数倍（2～4m）にするように定められた（郭，1997）。

4.4.2. 水利費の徴収と用水管理

水利費は1953年から徴収されるようになった。水利費は当初より基本料金と水料金で構成された。1953年当初の水利費と1956年の水利費改定の内容をまとめて表4-1に示す。

1953年を例にして説明すると、水利費は耕作面積当たりの基本料金（6元/ha）に加えて、水料金が各作付期の灌漑1回ごとの面積当たり単価（4.5～6元/ha）に対して課金された。すなわち、この期間は基本料金、水料金ともに面積当たりで課金された。1965年に水利費は改定され、基本料金については従来どおり面積当たりでの課金（0.5～0.7元/ha）であるが、水料金は使用水量に応じた従量料金（1990年では29.5元/m³）に改定された。以後1990年までに水利費の改定が4回行われた。基本料金は安く設定し、使用水量に対して大きく課金する仕組みは同じであり、これにより農家へ節水を促す意図があったと考えられる。この25年間の水料金の単価（使用水量当たり）の上昇をみると、夏季灌漑については約5倍、冬春季灌漑の場合は約30倍になっている。1965年から1990年までの水利費の改定の詳細は表4-2に示すとおりである。なお、表中の「pump」は河川取水を高い農地まで重力送水できないときにポンプ揚水される水を意味する。ポンプを稼動するための燃料は農家負担であることを考慮して、重力水を取水する農家より水利費は低く設定されている。

表4-1 水利費の改定(1953年～1956年)

Year	Water fee (RMB/ha)				
	Basic rate	Water price (per irrigation)			Total
		Winter-Spring	Summer (1st)	Summer (2nd)	
1953	6.0	4.5	6.0	6.0	22.5
1956	10.5	-	7.5	7.5	25.5

表 4 - 2 水利費の改定(1965 年 ~ 1990 年)

year	Basic rate(RMB/ha)		Water price(RMB/1,000m ³)					Domestic use
	Gravity	Pump	Irrigation		Muddy water	Industry	Aquaculture	
			Winter-Spring	Summer				
1965	0.7	N.A	1.0	6.0	Free	10.0	10.0	3.0
1979	0.7	0.5	1.0	6.0	0.5*, 3.0**	10.0	Same as irrigation***	N.A
1982	0.7	0.5	5.0	9.0	5.0	50.0	Same as irrigation***	N.A
1986	0.7	0.5	11.0	15.0	15.0	50.0	Same as irrigation***	N.A
1990	0.7	0.5	29.5	29.5	29.5	100.0	50.0	N.A

* Price for winter and spring, ** Price for summer, *** Prices are set depending on the season.

4.4.3. 地下水の利用と規制

1950年代後半の農地拡大は当初計画よりも急速に進められたため、特に洛東区における用水確保が間に合わず、地下水利用が提案され、1960年代よりその利用が始まった。しかし、当時は電力不足のため、浅井戸を掘り、人力や畜力で取水が行われた。1970年代に入るとますます地下水灌漑は盛んになり、1978年までに3,500本の井戸が掘られ、地下水を利用する農地の延べ面積は全農地面積の18%に及んだ。1980年代には、洛東区の一部の地域では、主水源がこれまでの地表水（洛河）から地下水に変換した。地下水利用の普及は、適宜適量の水を農家が手軽に灌漑できることだけでなく、前節で述べたように水利費の高騰も大きく影響している。図4-6に洛東区の季別地下水利用量を示す。図に示すように、地下水利用は夏季に集中し、1970年代は年間の地下水利用量の70%以上、1980年代以降は60～70%程度を占めている。夏季作の主作物は綿とトウモロコシである。なお、1983年には河川水（図4-4）、地下水（図4-6）共に利用水量が極端に少なくなっているが、これはこの年の年間降水量が765mmと多く、多雨年であったためである。このように地下水が過剰に汲み上げられた結果、1980年代初頭に地盤沈下が起こった。この地盤沈下の問題により、これまで自由に使うことができた地下水利用が規制されるようになった。なお、地下水利用は特に洛東区で盛んであり、洛西区ではそれほどではなかった。

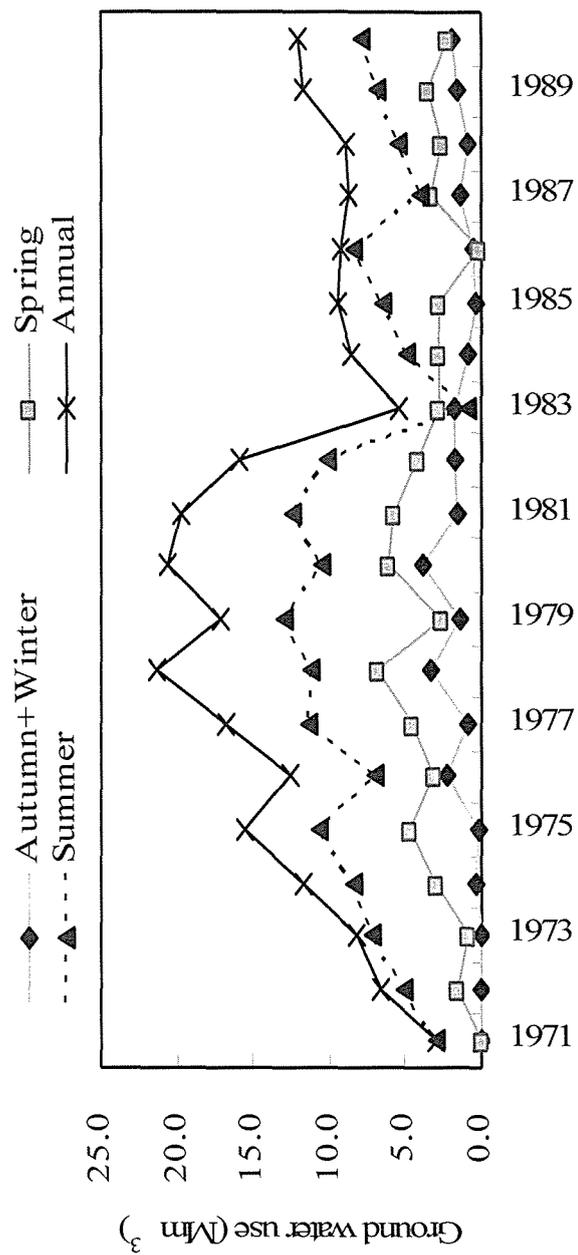


图 4 - 6 季别地下水利用量(1971 年 ~ 1990 年)

4.4.4. 排水改良事業

灌区では灌漑開始以来 1990 年までに大規模な排水改良事業が 1956 年, 1963 年, 1967 年, 1973 年と 1985 年の 5 回にわたり行われた。表 4-3 に 1956 年から 1990 年までの排水改良事業の年表を示す。灌漑開始当初の排水施設が十分でなかったため、幹線・支線水路の建設が短期間に集中的に行なわれてきた。また、排水改良事業の進展に伴い、灌区の年間排水量も増加している。これにより、地下水の上昇は抑えられ、図 4-3 に示すように塩類化農地面積が減少したと考えられる。今後も排水機能を維持するための改修や堆積土砂の除去などの定期的なメンテナンスが肝要である。なお、幹線から末端までの排水路開削、および幹線・支線排水路の改修・維持管理は公共事業であり、農家負担は無いが、末端排水路の維持管理には、農家も経費の一部負担が義務付けられている。例えば 1990 年の末端水路の堆積土砂の除去に際しては、事業費の農家負担分は水利費にその 4% を上乗せする形で徴収された。

表 4 □ 3 排水改良事業年表

Period	1956-1962	1963-1966	1967-1972	1973-1984	1985-1990
Construction and rehabilitation	Construction of main drainage and tertiary drains	Extention of main drainage and deepening secondary drains	Preparation of drainage facility in lowland area and removal of sedimentation in the tertiary drains	Rehabilitations of two main drainage canals and tertiary drains	Removal of sedimentation in the tertiary drains
Main and secondary drains (Nos. and length in km)	6, 33.5	2, 19.5	1, 9.9	4, 38.0	-
Tertiary drains (Nos. and length in km)	86, 148.4	111, 166.6	13, 15.0	34, 58.0	-
Average drainage discharge (10,000 t/y)	610	1,167	1,026	1,194	2,519
Average Salt discharge (10,000 t/y)	5.1	8.3	8.2	9.2	N.A.
N.A.: Not Available					

4.4.5. 流水客土

洛河の水の電気伝導度 (EC) は 1.2 dS m^{-1} 程度であり、塩類濃度は比較的 low 土砂含量は多い。特に増水期においては、黄土高原からの流出浮遊土砂を大量に含む。この浮遊土砂は、有機物も多く含んでいる。そのため、この泥水を、あらかじめ堤防で囲んだ塩類集積農地に引き入れ、時間をかけて浸透させ、かつ浮遊土砂を沈殿させることにより、リーチングと客土を同時に行う効果が得られ、塩類集積農地の改良が可能となる。また、土壌表面が高くなるので、地下水面までの相対的高さは増加する。加えて、土砂に含まれる有機物は農地の肥沃度の向上に寄与する。このように、流水客土は流域内の物質循環を巧みに利用した塩類土壌改良法である。

1969 年から 1981 年の 12 年間に流水客土により改良された塩類農地の面積は 3,722 ha に上る。流水客土後の効果の持続性については、本灌区の場合、排水が良好な地域においては土壌、および地下水の塩類濃度の季節変化はあまり小さくなく、経年変化も徐々に減少し、最終的に一定範囲に安定し、客土の効果は持続されていると報告されている (北村ほか, 2008)。一方で、排水が不良な地域においては土壌および地下水の塩類濃度の年内変化が激しく、土壌の塩類濃度は徐々に上昇し、1 ~ 2 作後には再び塩類集積により耕作ができなくなった事例も報告されている。したがって、流水客土による塩類土壌改良の効果を実施後も持続させるためには、排水施設が整備され、適正に管理されることがその前提となる (北村ほか, 2008)。

4.4.6. 地下水位の変動

陝西省渭南地区洛惠渠管理局 (1987) によると開発当初の地下水位は低く、またその変動は小さかったと報告されている。一般に、地下水面の地表面までの深さ (以後、地下水深) が 3 m より浅くなると農地の塩類化が懸念される。そこで、洛東区で地下水位を観測している 51 本の井戸のうち、1977 年から 1990 年までの間に地下水深が 3 m 以浅になった 28 本の井戸の 1977 年、1980 年、1985 年および 1990 年における地下水深を図 4-7 に示す。図中の●印は上記期間を通して地下水深が 3 m 以深を保った観測井である。図に示すように、洛東区の東部および南部では、地下水深が深いため地下水面の上昇による農地の塩類化の恐れはない。しかし、洛東区中央東部の塩湖周辺 (図中の囲み A) では、1985 年から地下水深が浅くなっており、塩類集積が起こる危険性が高い。西部から南部にかけて流れる用水路の末端付近 (図中の囲み B) において、地下水深の浅い井戸もあれば、逆に 1985 年から 1990 年の間に地下水深が深くなった井戸もある。図に示されるように洛東区では、幹線・支線排水路近傍の井戸での地下水深が一定である傾向は見られない。

また、塩類濃度の高い地下水を灌漑利用するために農地の塩類化が生じているという報告もあり（恵ほか，2001； Solomon *et al.*, 2005），地下水深が深くても，高い塩類濃度の地下水を灌漑利用する場合は注意が必要である．

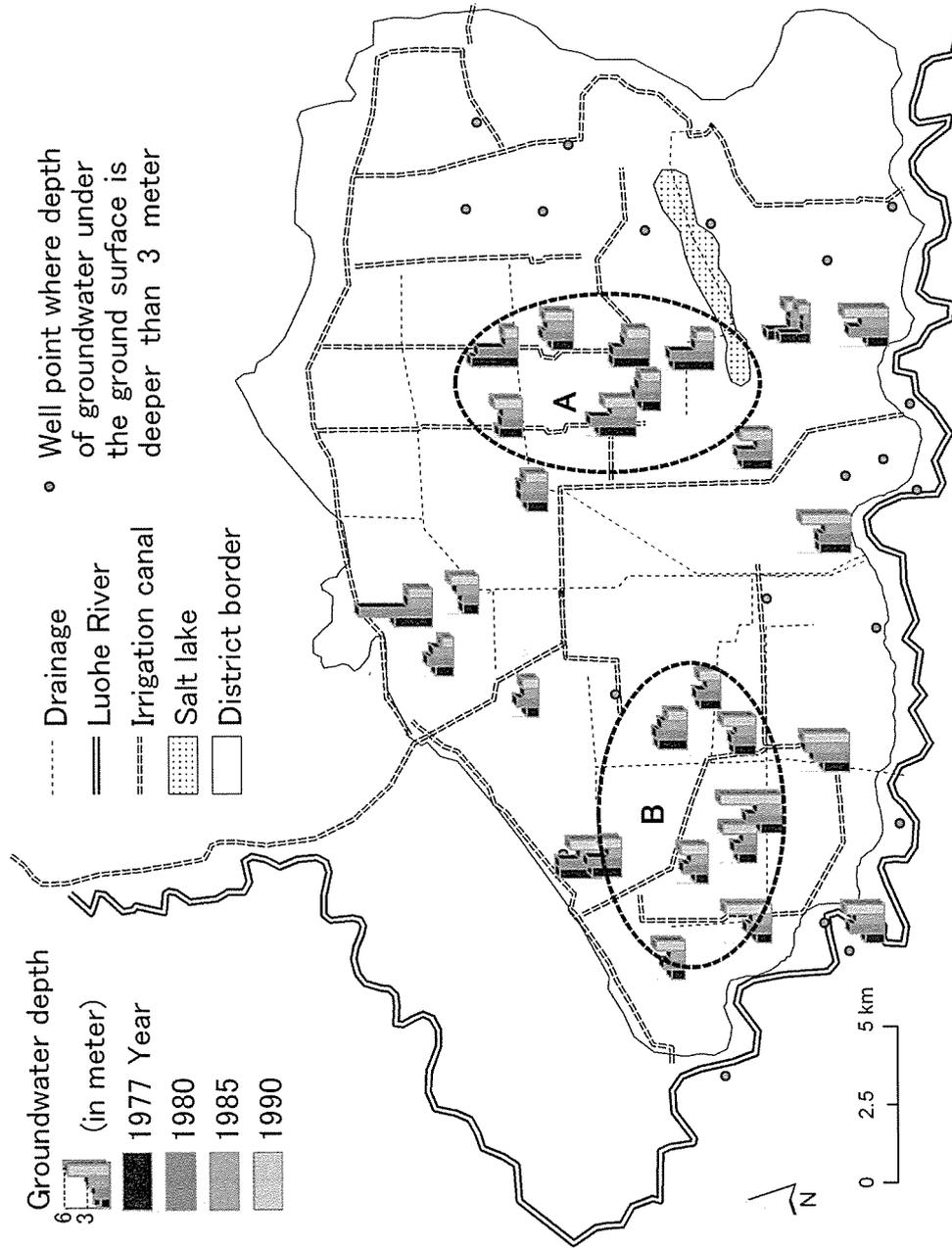


図4□7 洛東区における地下水深の変動

4.4.7. 灌区の水収支

降水量，河川取水量，排水量，地下水利用量，作物蒸発散量から，灌区の水収支を算出した。なお，主要作物の蒸発散量は，灌区近傍の気象観測所の 1961 年から 1990 年の気象データをもとに，Blaney-Criddle 法 (Doorenbos and Pruitt, 1975) により主要作物の蒸発散量を推定した。本方法は，地理情報（緯度・経度，標高）に加えて，月平均気温のほか湿度および風速の 3 段階評価のみの気象データから基準蒸発散量の推定が可能な経験則に基づく簡便な推定法であり，特に，洛恵渠灌区のような乾燥気候に適した方法である。上記期間について各作物蒸発散量の平均値を取り，小麦，トウモロコシ，綿の栽培期間蒸発散量を，それぞれ 130 mm，435 mm，600 mm とした。

前述の排水改良事業の期間でデータの揃っている年の水収支の平均値を表 4-4 に示す。表に示すように 1960 年代前半は河川取水量と降水量の合計は 992 mm に達し，そのうち 359 mm が作物消費量であり，地表排水量はわずか 15 mm，降下浸透量と地下排水量の合計が 618 mm である。灌漑開始当初の 1950 年代も同様の取水がなされていたと考えると，この期間における塩類化農地面積の増加は，排水不良に伴う地下水上昇に起因すると考えられる。しかし，それ以後は年平均降水量が減少しているにもかかわらず，河川取水量が開発当初に比べると減少している。これは，幹線・支線水路のライニングや圃場長辺の短縮化に伴う送配水効率，適用効率の改善により，取水量が削減されたと考えられる。同時に，降下浸透量および地下排水量も 60 年代初頭の 618 mm から大幅に減少している。一方，排水量は多い時期でも 43 mm であり，十分に機能していないと過小評価されがちであるが，これは排水量を全耕地面積で除して水深換算した値であり，排水路に実際に排水されている農地面積当たりで換算するとこの値は大きくなると考えられる。このことは，図 4-7 で示したように，地下水位が低くなっている井戸があることから十分に推察できる。

表 4 □ 4 洛恵渠灌区の年間水収支

Period	Water withdrawal	Surface drainage	Evapotranspiration	Rainfall	mm/y	
					Pumped water	Deep percolation
1961-1962	356	15	359	636	-	618
1965-1966	255	43	380	456	-	288
1971-1972	320	36	387	439	11	335
1973-1984	282	21	338	527	20	450
1985-1990	228	19	279	490	14	419

4.4.8. 塩類化対策のまとめ

本章で述べた塩類化対策とその効果は以下のようにまとめることができる。灌漑必要水量の見直しにより、図4-5に示したように河川取水量削減の効果が得られたが、これには水利費の徴収およびその後の水利費の値上げも影響していると考えられる。しかし、その一方で、ポンプ稼働の経費を見込んでも河川水より安価な地下水利用が農家の間で盛んになり、一部では塩類濃度の高い地下水の灌漑による塩類化が進行した。

排水改良事業は、灌区の開発後、数次に分けて行なわれ、地下水位の低下に一定の効果を果たしているが、堆積土砂の定期的な除去などメンテナンスが不可欠である。また、流水客土は客土とリーチング効果が直ちに得られる方法であるが、排水が十分に機能していない農地では、数年で塩類集積が再発する可能性もある。このように、個々の対策は有機的に連携させることが重要で、どれか一つ、二つの対策だけを断片的に行なったとしても、それらの効果の持続性は一時的である。実際、現地では用水管理団体（洛惠渠灌区）と排水管理団体（大荔県人民政府）は別組織であり、灌区全域の広域的水管理の面で連携が欠如している（北村ら，2008）。圃場および灌区レベルでの塩類化対策が効果を発揮するためにはハード面だけではなくソフト面の充実と両者の有機的連携が必要である。

4.5. まとめ

中国・陝西省の洛惠渠灌区を対象に農地の塩類化対策として行なわれてきた灌漑排水事業の推移、営農指導、および各時代の社会経済的背景などが灌区の水利用や地下水位の変動、ひいては、塩類化農地面積の変動に与える影響と、特に、塩類化対策事業の効果について分析、考察した。個々の塩類化対策は単独で成立するものではなく、その効果は他の対策と有機的に連結させることにより得られるものであり、どれか一つだけを充実させればよいものではない。圃場および灌区レベルの塩類化対策が中長期的に効果を発揮していくためには、ハード的対策に加えてソフト的対策を充実させ、両者を有機的に連携させ、機能させていくことが不可欠である。すなわち、排水管理団体は、塩類化対策として灌区の地下水位を適正に制御する「常時排水」の概念を念頭に置いた方策を立てる必要があるが、その設計には用水管理団体との連携が必要であり、また、圃場レベルでの水利用の実態や効率的な灌漑方法に関する調査研究から得られる知見を必要とする。なお、「常時排水」とは平常時に地下水位を適正に制御して、過湿害から農地を守るための排水である。

今回用いた歴史的資料では、灌区の塩類化状況を空間的に把握することができなかった。今後は、圃場整備、灌漑方法、灌漑スケジュールなどの水利用に関する調査、および定期的な現地塩類化調査や衛星画像解析により、農地の塩類化状況を空間的に把握し、農地の塩類化対策を策定していく必要がある。

引用文献・主要参考文献

1. 郭元裕 (1997) : 农田水利学, 中国水利水电出版社 : 57.
2. 惠春莉・罗三强・国 軍(2001) : 洛惠渠灌区地下水水质评价, 『地下水』, 23 - 4 : 180 - 181.
3. 北村義信・楊勝利・山本定博・遠藤常嘉(2008) : 二次的塩類集積の防止に向けて. 『山中典和編 : 乾燥地科学シリーズ 5 黄土高原の砂漠化とその対策』, 古今書院 : 166 - 186.
4. 洛惠渠志編纂委員会 (1995) : 『洛惠渠志』. 陝西人民出版社.
5. 陝西省渭南地区洛惠渠管理局(1987) : 洛惠渠地下水動態規律及調節利用分区規律『灌溉排水』, 6 - 4 : 1 - 6.
6. 烏日樂瑪・福本群・北村義信・清水克之・ソロモン ハプトゥ・長澤良太・西山壮一・李占斌 (2007) : 中国・洛惠渠灌区における塩類集積農地面積の変動, 日本沙漠学会第 18 回学術大会要旨集 : 29 - 30, 京都.
7. Doorenbos, J. and Pruitt, W. O. (1975): Crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
8. Solomon H., Kitamura Y., Li, Z., Yamamoto, S., Yang, S. L., Li, P., Waleed, A. and Otagaki, K. (2005): Classification of salinization processes in Luohui Irrigation Scheme China -part of water management research to prevent salinization in semiarid land-. Journal of Arid Land Studies, 15 (2).

第5章 結 論

本研究は、中国の乾燥地域における沙漠化と土・水利用の変化の相互作用を明らかにするために、以下の研究を行った。中国における沙漠化の進行、沙漠化の空間的および時間的の時系列的な変化、その変化の要因としての農耕と放牧および対策、乾燥地域の灌漑農業の農業開発と作付け状況および塩類化とその対策についてさまざまな面から調査研究を行い、中国乾燥地における土地と水利用の基本的構造を明らかにした。

中国の環境問題は世界中の多くの研究者に注目されているが、特に土地の劣化すなわち、土地の沙漠化は深刻であるために、中国一国の国内問題のみならず国境を越える大きな問題として国際的に注目されている。そのために、中国独自の対策的努力の他に国際的な調査・研究や援助・協力が行われている。

中国において沙漠化の深刻な地域は主に長城以北の農業と牧業の混雑地域であり、その東端に位置するホルチン沙地の沙漠化は最も深刻である。1981年～2002年までの5時期の衛星画像を用いて植生被覆面積率の解析を行った結果より、ホルチン沙地の沙漠化は単純な時間的変化だけではなく、地域性が顕著な空間的変化も伴っていることが明らかになった。また、ホルチン沙地を全体的にみると沙漠化面積は広がっているが、同時に減少している地域もある。研究対象地であるバインタラ地域において沙漠化は東南から西北方向に広がっていることが明らかになった。特に、沙漠化が地域の全体的傾向と異なる村に注目し、家畜と耕地面積の変化を基に分析を行った。その結果、この地域の沙漠化に主な影響を与えているのは、もともと脆弱な自然環境のもとでの輪耕、過放牧に加えて、沙漠化対処のために導入された土地利用政策が思惑とおりに運ばなかったこと等である。

2008年7月に行った現地調査より、対象地域では水資源がひっ迫しており、当該地域の人々の生活や農業と牧業地域の正常な運営に大きな脅威となっていることが分かった。かつ、近年この地域において連続的に干ばつが生起し、また地下水位が急速に低下している。この状況は、地下水しか頼る水資源がないこの地域の人々に、大きな不安を与えている。バインタラ地域においては、沙漠化対処に行政サイドと住民が一体となって取り組み、自然生態系と調和のとれたものに軌道修正していく必要がある。中でも水資源は住民の生活を脅かす最も深刻な問題であり、緊急に解決すべき重要課題と考えられる。

中国の半乾燥地域に位置する洛恵渠灌区では、1950年代より綿、小麦、トウモロコシなどが栽培されてきたが、近年では、果樹や野菜の栽培面積が増加している。本灌区では完工以来、農地の塩類化が大きな問題となっており、その対策として、適用効率を改善するための耕区の縮小や

流水客土技術の導入，水利費の値上げによる水使用量の削減や，排水路の深掘による地下水位の低下などが行なわれてきた。本論では，洛惠渠灌区における 1950 年から 1990 年の間に行なわれた灌漑排水事業や塩類化対策，社会経済状況の変化，地下水位の変動が農地の塩類化へ与えた影響について分析を行なった。その結果，個々の塩類化対策により一定の効果を得られたが，その効果をより一層高めるためには個々の対策が連携して行なわれることが必要であることを明らかにした。

以上のことから本研究では，中国における沙漠化の進行，沙漠化の時間的・空間的な変化，その変化の要因としての農耕と放牧，沙漠化対策のために地域に適用された政策，乾燥地域への灌漑農業の導入と作付け・水利用状況，塩類化とその対策等について様々な面から調査・分析を行った。そして，中国乾燥地における代表的な沙漠化である過放牧・過耕作による土地劣化と農地の塩類化に苦しむ地域を対象に，それらの土地利用と水利用の基本的構造を明らかにし，沙漠化対策におけるコンセプトを示した。本研究で得られた知見や沙漠化対策における考え方は，今後の沙漠化対処に取り組む上で，基本的かつ必要不可欠であり，他地域における沙漠化対処の基本理念を構築していく上で，大いに参考になると考えられる。

SUMMARY

Research on interaction between changes in land and water management and desertification in dry region of China

(中国の乾燥地域における砂漠化と土・水利用の変化の相互作用に関する研究)

In China, more than 50 % of the land is categorized as arid or semi arid regions and about 20 % of the arid/semi-arid land is regarded as desertified land. The serious desertification problems in China are well-known worldwide. This paper discussed on the interaction between desertification and the changes of soil and water uses in arid areas in China. Firstly, literature review was conducted on desertification and its affecting factors in China, then, through the analyses on the current situation of desertification, I classified types of desertification by the different desertification processes. According to the classification, I focused on two major affecting factors of desertification; one is a rapid increase of livestock farming and the other is an in-appropriate water management in irrigated agriculture. Therefore, I selected Bayintala region in Inner Mongolia and the Luohui Irrigation Scheme in Shaanxi province as the study areas where a livestock population increased rapidly and where an in-appropriate irrigation water use has been practiced, respectively in order to conduct survey for impact of land and water uses on desertification.

Desertification due to the rapid increase of livestock population in Inner Mongolia, I have conducted field survey and summarized the result described as below. The study area is characterized as a mixture of farmland and pasture, and the Horqin Sandy Lands, the east end of the Great Wall are one of the most severely damaged by desertification. Through the analysis of vegetation cover ratio using five different satellite images during 1981 and 2002, it is clarified that desertification had shifted from the southeast to northwest in the region and at the same time the desertified area decreased after 1992. Moreover, desertification in the Horqin Sandy Lands is proceeded by not only natural and temporal change but also spatial change caused by local characteristic by human activity. Through the detailed analysis on land cover change of the Horqin Sandy Lands, the area of desertification increased but in some area, vegetation has recovered.

Then, analysis on the effects of human activities such as central and local government policies in addition with irrigated agriculture and livestock farming on desertification in the Bayintala region was conducted. The results show that affecting factors on desertification in the region is irrigated agriculture and cattle breeding under the originally vulnerable natural environment. Thus, the land use policy against desertification has not been implemented as planned. From in-site survey, it is confirmed that the water

scarcity is impending in the area and it threatens the sustainable agriculture and livestock farming.

It is an urgent matter that local government and people in the Bayintala region cooperate each other to cope with desertification. Especially, water resource is serious issue for the people and to be solved with first priority.

The Luohui Irrigation Scheme is located in the semi-arid region of China where upland crops such as cotton, wheat and corns have been cultivated since 1950. Recently, the number of fruit and vegetable growers has increased. The irrigation scheme has faced with salinity problems since the establishment of the scheme, then, various countermeasures have been practiced.

The study on the Luohui Irrigation Scheme discusses the effects of series of irrigation and drainage improvement projects, countermeasures against salinization and socio-economic conditions on water use, fluctuations of groundwater level and salinized area during the period from 1950 to 1990 in the study area.

So far various countermeasures conducted such as improving field application efficiency by shortening field length, salinity control by soil warp dressing on plot level, reducing water-use amount by pricing water since 1950's and control of groundwater table by deepening drainage canals on system level have been conducted.

Through the reviews of these countermeasures and their corresponding effects on salinity problems, the results show that each countermeasure showed an effect against salinization to some extent. However, in order to exert the utmost effect of each countermeasure, all measures need to be applied simultaneously with an appropriate combination.

Through these two case studies, I have analyzed temporal and spatial changes of desertification, its process and the effects of the countermeasures. Through the series of results, I clarified the basic structure of land and water uses in arid areas and discussed the concept of countermeasures against desertification. These are quite basic and inevitable knowledge and concept to consider the countermeasures of desertification, thus they could be helpful for creating basic concept for combating desertification in other desertified regions.

摘 要

題目：中国の乾燥地域における沙漠化と土・水利用の変化の相互作用に関する研究

(Research on interaction between changes in land and water management and desertification in dry region of China)

中国では国土の 50 %以上が乾燥や半乾燥地域に属し、約 20 %の土地が沙漠化しているといわれており、深刻な沙漠化問題は世界的に知られている。

本研究は、中国の乾燥地域における沙漠化と土地・水利用の変化の相互作用を明らかにすることを目的としている。まず、中国における沙漠化とその影響要因に関する文献レビューを行い、沙漠化の現状を分析するとともに、沙漠化プロセスの特徴から分類を行なった。次に、その分類をもとに沙漠化地域の主要因として考えられている過剰な放牧・耕作と不適切な灌漑農業の水管理に着目し、それぞれの代表的な地区である内モンゴル自治区のバインタラ地域と陝西省洛惠渠灌区を対象として土地・水利用およびその変化が沙漠化に与える影響について調査分析を行なった。

内モンゴル自治区のホルチン沙地内のバインタラ地域の沙漠化を対象とし、1981年～2002年までの5時期の衛星画像を用いて、単位面積当たりの植生被覆面積率の解析を行い、その沙漠化の進行または、植生の回復に影響する要因について分析を行なった。ホルチン沙地は内モンゴル東部に位置し、その面積は約 4.23 万 km²で、中国で最も大きな沙地である。ホルチン沙地は半乾燥地域に属し、かつては広大な草原で世界に知られていたが、現在では、沙漠化が深刻な農業・牧業混淆地域として代表的な地域であり、中国沙漠化研究の重要な対象地域の一つである。

この地域を対象に5時期の衛星画像を解析した結果、ホルチン沙地の沙漠化は単純な時間的変化だけではなく、地域性が顕著な空間的変化も伴っていることが明らかになった。また、ホルチン沙地を全体的にみると沙漠化面積は広がっているが、同時に減少している地域もあることが分かった。研究対象地であるバインタラ地域において沙漠化は東南から西北方向に広がっていることが明らかになった。また、沙漠化が地域の全体的傾向と異なる村に注目し、家畜と耕地面積の変化と沙漠化の関係について分析を行った。その結果、この地域の沙漠化に主な影響を与えているのは、もともと脆弱な自然環境のもとでの輪耕、過放牧に加えて、沙漠化対処のために導入された土地利用政策が思惑通りに運ばなかったこと等であることを明らかにした。

また、2008年7月に行った現地調査より、対象地域では水資源がひっ迫しており、当該地域の

人々の生活や農業と牧業地域の正常な運営に大きな脅威となっていることが分かった。かつ、近年この地域において連続的に干ばつが生起し、また地下水位が急速に低下している。この状況は、水資源を地下水に頼るしかないこの地域の人々に、大きな不安を与えている。バインタラ地域においては、沙漠化対処に行政サイドと住民が一体となって取り組み、自然生態系と調和のとれたものに軌道修正していく必要がある。中でも水資源は住民の生活を脅かす最も深刻な問題であり、緊急に解決すべき重要課題と考えられる。

次に、洛恵渠灌区における沙漠化はいわゆる農地の塩類化である。総面積 7.5 万 ha のうち 5.2 万 ha の灌漑面積を有する本灌区では、1950 年の通水開始以来、夏作に綿、トウモロコシ、冬作に小麦を中心とした畑作が行われており、近年では果樹・野菜の栽培が増えている。灌漑は洛河から導水した地表水に加えて、地下水にも依存しており、主としてボーダー灌漑、畝間灌漑が行われている。本灌区は灌漑システムの運用開始以来、農地の塩類化の問題に直面しており、1960 年まで増加し、灌漑農地の約 10% が塩類化農地となった。そのため、これまでに様々な対策が採られてきた。

そこで、灌漑排水事業の推移、営農指導による塩類化対策、および各時代の社会経済的背景などが灌区の水利用や地下水位の変動、ひいては、塩類化農地面積の変動に与える影響について開発当初の 1950 年から 1990 年までの資料を収集し、分析と考察を行った。特に、この期間の塩類化対策事業の効果について逐一分析し、考察した。その結果、これまでに様々な塩類化対策が行なわれ、それらは一定の効果を発揮したが、その機能および効果をさらに増進させるためには、他の対策と有機的に連結させることが肝要であり、どれか一つだけを充実させればよいものではないことが示唆された。

すなわち、圃場および灌区レベルの塩類化対策が中長期的に効果を発揮していくためには、用排水路整備、圃場整備などのハード的対策に加えて、用水および排水管理団体の連携といったソフト的対策を充実させ、両者を有機的に連携させ、機能させていくことが不可欠であることを明らかにした。

以上のことから本研究では、中国における沙漠化の進行、沙漠化の時間的・空間的な変化、その変化の要因としての農耕と放牧、沙漠化対策のために地域に適用された政策、乾燥地域への灌漑農業の導入と作付け・水利用状況、塩類化とその対策等について様々な面から調査・分析を行った。そして、中国乾燥地における代表的な沙漠化である過放牧・過耕作による土地劣化と農地の塩類化に苦しむ地域を対象に、それらの土地利用と水利用の基本的構造を明らかにし、沙漠化対策におけるコンセプトを示した。本研究で得られた知見や沙漠化対策における考え方は、今後の沙漠化対処に取り組む上で、基本的かつ必要不可欠であり、他地域における沙漠化対処の基本

理念を構築していく上で、大いに参考になると考えられる。

学会誌公表論文リスト

論文1：学位論文第4章

題目： 中国・洛恵渠灌区における農地の塩類化とその対策の効果に関する考察
(*A study on salinized land and the effects of the countermeasures
in Luohui Irrigation Scheme, China*)

著者名： 烏日樂瑪・清水克之・北村義信・Solomon Habtu・長澤良太・
Li Zanbin・Li Peng・喜多威知郎

学術雑誌名： 沙漠研究 (2009年1月発刊), Vol.18 (4) p135 - 142

論文2：学位論文題3章

題目： 中国・内モンゴル自治区バインタラ地域における沙漠化の変遷についての考察
—衛星画像データの解析による—
(*Change in desertification in Bayintala region of Inner Mongolia, China
- Analysis on satellite images -*)

著者名： 烏日樂瑪・北村義信・長澤良太・清水克之・喜多威知郎

学術雑誌名： 沙漠研究 (2009年9月受理), Vol.19 (4) (2010年3月末発刊予定)

謝 辞

日本語

何年間にもわたり努力を重ねてきましたが、博士課程の修了に至るこの時期、大きく息を吸うと胸のつかえが取れたような感じがします。同時に、博士課程を修了するに至るまでに私を応援して下さった方々も思い出されます。

故人に「友人が増えれば増えるほど道が広がる」、現代に「友人は最高の財産」といわれ、私にとって友人は知恵であり、力でもあると感じます。博士課程の三年間だけでも、数え切れないほどのたくさんの方々の応援や援助をいただきました。モンゴル語の諺に「一人の知恵は不足で、二人の知恵は永遠」という言葉があります。高校の教師であった私が大学の研究室に入学するに当たってはたくさんの資料や研究に関する本などを読み学ぶ必要があり、博士課程の三年間だけでは限界を感じました。今日、私が博士課程の研究論文を完成し、提出できたことは指導教員の北村教授をはじめ、先生方々や友人の応援がなければあり得なかったと思います。

まず、鳥取大学農学部の北村義信教授には長きにわたり、乾燥地農学における知識、研究論文の指導、その他数え知れない御恩をいただきました。先生とご縁を持たせていただいたことを心から幸せに思い、大変感謝しております。先生の研究に対する熱心さと厚い学術の素養および学問に対する真面目な態度は私の生涯の学習の模範となりました。先生の学生に対する愛情と関心が私に勇気を与え、励まされ、前に進むことができました。さらに、北村先生の大きい度量で、私のたくさんの失敗を許していただき、また先生から改めてチャンスを作っていただき、このようなことが繰り返しありました。北村先生の愛心と根気がなければ、私の博士号の夢は泡になって消えていたことは間違いないと思います。私が壁に当たった時、北村先生に愚痴をこぼし、ストレスを発散させたり、気がふさぐ時は先生へ訴えたり、時には学校を辞めると言い出し、時には博士号を受けるまで絶対に学校を諦めない、など自分勝手な言葉で繰り返し先生に甘えてきました。この場で北村先生にお詫び申しあげるとともに、心からの感謝を申し上げます。恩師の北村先生がいなければ今日の（私）鳥日楽瑪は存在しなかったと思います。

同時に鳥取大学農学部の長澤良太教授に深い感謝を申し上げます。先生の根気強いご指導により、私は先端的な科学技術を身に付けることができました。博士課程の入学前には、リモートセンシングについては名前しか知りませんでした。現在リモートセンシング技術を使用することができるようになり、地球を手で回すように楽しく感じます。この技術を用いて、バインタラ地

域の数十年間の変化を把握することができました。長澤先生のお陰で現代科学の魅力をより一層理解できたことに深い感謝を申し上げます。

鳥取大学農学部清水克之先生に深いお礼を申し上げます。私の論文などを修正するため、多くの時間を割いていただいた清水先生に、感謝の気持ちとともに先生がこれからはくつろげる時間を持つことを祈っています。実際に清水先生には研究面だけではなく、生活面での些細な出来事にも気を配っていただきました。先生の仕事に対する情熱、教師としての責任感と学生に対する愛情と根気、温和で善良な人柄は永遠に私の手本としたいと思います。清水先生のご姿勢から私は自信をつけ、希望を見つけます。清水先生とお会いできるご縁があった私はとても幸せに感じます。

山口大学農学部元教授、現在は退職されている西山壮一先生、島根大学農学部教授喜多威知郎先生に感謝のお礼を申し上げます。先生方の真面目なご指導をいただいたお陰で、博士号論文を提出することができました。

鳥取大学農学部元教授、現在は退職されている八木俊彦先生に心から感謝を申し上げます。ご指導をお願いしながら私的用事のため約束を守れなかった私を許して下さった八木先生にお詫びを申し上げますとともに、丁寧にたくさんのことを教えていただいたことに心から感謝を申し上げます。

私は博士生の中でも無知であり、せっかちで鈍感で泣き虫でしたが、そんな私を先生方は博識と真心で受け止めて下さいました。先生方に見守られて私は「七転び八起き」の諺のとおり強くなりました。ここに改めて先生方に心からの感謝を申し上げます。

鳥取大学農学部研究科を修了された水利用研究室の伊藤勉さん、長町博之さんにも大変お世話になりました。文献の修正やパワーポイントを作れず、深夜でも電話をかけて呼び出す時もありました。風邪だった長町さんを深夜に呼び出した際に、断らず研究室に来て私を助けて下さったことに心から感謝を申し上げるとともに、多大のご迷惑をお掛けしたことに対し、心よりお詫び申し上げます。足を悪くして雪の中を歩けずに困っていた私に、笑顔でいつでも送ってあげるよと声かけ、何回も送って下さった福本群さんへ感謝を申し上げます。城戸淳さんにも腰の痛みで困っていた私に手を伸ばして助けて下さったことに感謝を申し上げます。

鳥取大学農学部研究科景観生態学研究室の修了生、湯谷享泰さんにはリモートセンシングの知識を一つ一つ繰り返し教えていただきました。湯谷さんのお陰で、バインタラ地域における衛星画像を用いた時系列の研究が完成しました。心から感謝を申し上げます。伊藤史彦さんには衛星画像の分析技術についてたくさん教えていただきました。

鳥取大学農学部元 JSPS 外国人特別研究員の楊勝利博士と Solomon HABTU 博士にはいろいろ

なご研究面での貴重なご指導をいただきました。

中国奈曼旗水文局元職員の李玉山様、奈曼旗資料管理局の達拉呼様、奈曼旗政府事務局秘書科の満都拉様、奈曼旗水文局副書記の阿古拉様、奈曼旗医療保険会社主任の孟根套格蘇様、中国科学院内蒙古草原管理研究所主任の閻志堅博士、内蒙古師範大学地理学院副院長の烏蘭図雅教授の皆様には、たくさんの貴重な資料をご提供いただきました。

内蒙古通遼市政府秘書処処長の謝玉山様、主任の包玉花様、主任編集員の拉蘇栄様、包頭市中学校副校長の斯琴格日樂様には、研究対象地域の歴史資料を収集するにあたり、たくさんの人に声をかけていただくなど、多大の便宜を図っていただきました。

研究対象地域のバインタラ地域でフィールド調査を行った時には、地元の方達にたくさんの協力をいただき、予定どおりに終えることができました。

無知な鳥日樂瑪を遠くから心配し、励まして下さった新潟上越教育大学の教授佐藤芳徳先生・教授朝倉啓爾先生に心から感謝を申し上げます。

また、鳥取連合農学研究科の谷口係長を始め、事務の皆様へ感謝のお礼を申し上げます。入院中に皆様に励ましをいただき、勇気をいただいたお陰で博士論文を提出することができます。

鳥取大学理事・副学長の岩崎正美教授、副学長・国際交流センター長の若良二教授をはじめの国際交流の皆様へ感謝のお礼を申し上げます。お陰さまで博士課程を修了の日を向かえることができました。

同期に博士課程に入学した小池宗子さんには、いろいろな面で彼女は私の心の支えになっていただきました。本当に有難うございました。

鳥取市議員（元議長）の上杉栄一様、鳥取市 NPO 法人ピーグル森本幸子様、中国学友会の元会長賈瑞晨様、鳥取県世界平和組織会長の加嶋千恵子様、友人の大倉一郎様、石本敬子様と金双喜様と呼布沁様へ心から感謝申し上げます。

心身の健康を損なっていた私に自信を持たせて下さった徳永進医師をはじめ、野の花診療所の皆様へ、たかす医師をはじめ、たかすリュウマチ整形科診療所の皆様へ、心から感謝しております。

城北高校の校長先生へ、娘を貴校に受け入れていただいたため、私も落ち着いて研究を続けることができました。誠に有難うございます。

鳥取大学農学部水利用研究室の皆様、景観生態学研究室の皆様へ感謝のお礼を申し上げます。皆様からたくさんのことを学ぶことができました。鳥取大学に留学する学生に皆様へ感謝を申し上げます。皆様のお陰で、鳥取の生活を楽しむことができました。有難うございます。

異国での孤独な心を支えて下さった私の日本の家族：七沢弘子先生のご家族、樫野まさこお母

さんのご夫婦、五十嵐洋子様へ感謝のお礼を申し上げます。

いつも応援してくれる両親、兄弟へ感謝を申し上げます。

いつも自分でやろうと頑張ってくれた娘へ感謝しております。

また、博士課程の3年間にわたり日本国文部科学省、実山財団、ロータリー米山財団から奨学金というかたちで、経済的な援助をいただきました。日本学術振興会の拠点大学交流事業「中国内陸部の砂漠化防止および開発利用に関する研究」および文部科学省のグローバルCOE「乾燥地科学拠点の世界展開」の助成を受けて行なわれた。

鳥取大学学生支援科から授業料を免除していただきました。さらに、TA、RAとして雇用していただきました。

たくさんの方から心温かいご声援をいただきました

最後に、私が最初に来日したじの修士課程での第一指導教官で、上越教育大学の太田滋教授、第二任指導教官で上越教育大学の佐藤芳徳教授、博士課程での指導教員の鳥取大学の北村義信教授と清水克之先生へ再度感謝のお礼を申し上げます。私の履歴において海外留学というかたちで研究を続けることができたことはひとえに先生方のお陰です。先生方の一歩一影を生涯かけて学んでまいりたいと思います。

中国語

经过几年的拼搏，终于要熬过获得博士学位这一关了。在此收笔长吸一口气的时候感觉是一种很舒服坦然。更想起了曾经支持和帮助我走过艰辛岁月的所有朋友和亲人们！常言说的好“多一个朋友多一条路”，现实中更体会到了“朋友是最好的财富”！通过这几年的实践，实实在在实施地感觉到朋友给予了我智慧和力量！仅仅在这读博士学位的三年里，我都说不清得到了多少人的帮助。总之受到了太多太多人的关照才有了我的今天。蒙古人有一句成语叫“一个人的智慧不够，用两个人的智慧用不完”——特别是像我这样从中学讲台上走下来读研究生的人来说，必读的书，必看的资料太多太多。而读博士的时间太有限了太少了太不够用了。没有朋友们的帮助，我不一定走多少弯路，也不知道能不能完成博士论文。

首先要感谢我的主指导导师——北村义信教授的悉心指导，无论是论文的选题开题还是在论文的撰写过程中，导师都付出了大量的劳动，注入了辛勤的汗水。导师勇于创新的探索精神，深厚的学术素养及对科学的求实认真的态度，是我终生学习的楷模。导师的仁爱和对我的无微不至的关怀，将激励我奋勇前行。更重要的是导师的宽宏大量包容了我无数次的失误，给了我无数次的机会——假如没有尊师的爱心和耐心，我的博士肯定是半途而废了。我对我的导师是女儿对慈父一样的无所顾

忌——发难的时候对他发泄，发闷的时候对她倾诉；有时候说弃学，有时候说“博士不毕业决不罢休”……我要向我的北村义信导师致以衷心的感谢和崇高的敬意！没有我的导师绝不会有我的今天。

同时我还要感谢我的副指导导师，长泽郎太教授，正因为有了长泽老师的耐心指导，我才能够得以熟练地掌握现代科学先端技术，老师的魅力，科学的威力给了我学习掌握现代科学与与时俱进的动力。

我也同样感谢西山壮一教授，感谢喜多威知郎教授，有了他们耐心细致的指导才使得我顺利地完成了博士论文。

感谢我的清水克之老师，他为了帮我修改论文不分白天黑夜。在我攻读博士学位的三年里，有关研究的每一件大小事情都离不开清水老师的精心指导。在此向他表示衷心的感谢。清水老师认真的态度和处世之道，让我懂了很多很多——为事不漏小节更不失大体，无论是学术问题还是我个人问题，只要有清水老师的指点肯定会迎刃而解，正因有了清水老师的人际交往和语言交流艺术指导，多多地避免了我急躁冲动的性格弱点。博士学科学学技术是天经地义，但我的清水老师还是加授了我很多社交艺术，这正是我缺少的那根筋。他为人耿直，所以他对我的冒失最不客气，我虽然不是他的高徒假如没有他的严厉我今天的程度都达不到。一直以来我心里明白他的严厉只是慈善的一种表现，也是一种无私的态度，他是急我所急为我着想，世界上为别人得罪别人的人也许只有像我的清水老师这样的人！他的耿直他的严厉他的慈善让我我认识了失误，同时也让我找到了自信看到了希望！今天生活中的很多坎坎坷坷走过来了。论文的写写改改也要划上句号了，但我永远忘不了清水老师的无私帮助，真诚教诲，热情嘱托，确切指点。

感谢鸟取大学前农学部教授（现已退休在家）的八木俊彦老师。在完成博士论文的过程中给了我很多宝贵的建议并精心地为我修改。写一篇论文有提材那只是一个空架子，有材料和数据那只是备了料而已，要真正写成一篇有论有据的结构严谨的表达方式适当的文章是费一番心思的，这一点上八木老师是逻辑思维脉络清晰而且有文学家般的措词风格。有他的指点避免了我语言上的担心。

还要感谢已经走上工作岗位的鸟取大学前农学研究科硕士，水利用研究室的伊藤勉先生，长定博之先生，福本群先生和城户淳先生。我不会忘记他们在我写论文的过程中给予我的帮助。

感谢已经走上工作岗位的鸟取大学农学研究科景观生态研究室硕士汤谷享泰先生，伊藤史彦先生，在我学习掌握遥感技术过程中给予我无私的帮助并提供了珍贵的资料。

感谢来自中国的鸟取大学农学部前研究员杨胜利利博士后和来自埃塞俄比亚的鸟取大学农学研究院前研究员索罗门博士后，给予我的指导和帮助。他们都以一个学长的身份把自己的宝贵经验，毫无保留地传授给了我，使我有前车之鉴。所有的大小点点滴滴的帮助都成了我前进道路上点燃的盏盏明灯。一个小小的我有缘得到国内国外世界各地长者智者的照应，我真的感到特别特别

的幸运，幸福。

感谢奈曼旗水文局原职工李玉山先生，奈曼旗档案管理局的达拉胡女士，奈曼旗政府办公室秘书科的满都拉女士，中国科学院内蒙古草原管理研究站闫志坚博士，内蒙古师范大学地理学院副院长乌兰图雅教授等家乡的父老乡亲，他们也都是扶持过我的恩人。其中的每一个人我都会铭记在心，他们有的给我提供了珍贵的历史资料，他们有的给我拿出了自己的研究成果。我不敢说滴水之恩涌泉相报，但我会一生一世为报答所有恩人而尽心尽力的。就算我永远报答不完任何人的恩情，但铭记恩人的情义是个美好的记忆，让报恩成为我美好的追求吧。

感谢通辽市秘书处处长谢玉山先生，主玉花女士，主任编辑拉苏荣先生，奈曼旗水文局党委副书记阿古拉先生，奈曼旗医疗保险公司主任孟根套格苏先生和包头市第6中学副校长斯琴格日乐女士，帮我收集了历史文献。在时间仓促的情况下他们成了我的眼睛我的头脑，他们都把我的事当成了自己的事。当然他们有的是我的同学有的是我的朋友，在家乡时每一位都可以是我的最信赖最依赖的人，但到了异国他乡，他们又成了我的依靠对象，你们让我懂得了一个人无论走多远飞多高，根基还是在生我养我的故土上啊。谢谢你们！我梦牵魂绕的老同学和所有新老朋友们。感谢奈曼旗白音他拉地区的牧民们，他（她）们个给我提供了很多的帮助创造了很多的条件，让我顺利完成了野外调查，更感谢他（她）们让我掌握了第一手材料！

感谢鸟取大学联合农学研究科办公室的每一位同志，他们的勉励让我重新回到了研究生活。感谢鸟取大学干燥地区研究中心篠田研究室在读博士小池崇子女士的无微不至的关怀。在我出了车祸在生死线上挣扎的时候是他们给了我爱，增强了我生的欲望和信心。有了他们的热心照顾在趟在病床上的时候从未感到孤独和绝望，就在那个特殊的时候，让我更真切滴看到每一个朋友的炽热的心。他们的心温暖了我的心，他们的心撑起了我的生命！使我在日本岛上死而复生，让我重新站起来的精神支柱是我的朋友们还有老师们！

感谢新潟县上越教育大学的佐藤芳德教授和朝库尔教授，从远方一直鼓励我，让我坚持到了今天。感谢鸟取大学理事兼副校长的岩崎正美教授，鸟取大学副校长兼国际交流中心长的若良二教授，感谢国际交流的每一位同志，在我最困难的时候给我大量的支持和鼓励，让我能够专心地投入到研究中，才有了今天的成果。

感谢鸟取大学的学生支援科的每一位老师，你们的细心调查使我得到了学费的减免，为我减轻了经济负担。

感谢德永进医师为首的野花诊所的以及塔卡斯风湿·整形科诊所的各位医护人员，你们的精心照料让我重新站起来。我走路的腿是你们给的，我继续前进的信心和勇气也是你们给的，我的研究道路靠你们给的肢体和精神踏实地走过来了。

感谢鸟取市原常务委员长上杉荣一先生；感谢世界女子和平组委会会长加岛女士；感谢森本幸子

女士；感谢大库一郎先生；石本敬子女士，对一个远离家乡远离亲人的人来说，特别是在异国他乡独自一人生活是多么的孤独啊？尤其对出了车祸躺在病床上生活不能自理的人来说她是多么多么需要别人的关心和安慰呀？人只有进入这样一个无力，无奈的时候才最深刻地体会孤独的可怕。但我的这些朋友们在我最困难的时候代替了我的亲人代替了我的父母，从来没有让我感到无助。医务人员的治疗护理和朋友亲人的关心呵护是同样重要的，这两样我都没有欠缺。就在这个时候留学鸟取大学的很多很多同胞们，以及其他国家的留学生朋友也同样给予了我方方面面的关心照顾安慰，危难时刻见真情，这些人的关怀在病床上使我感到无比的幸福无比的骄傲！可能这就叫不幸中的万幸吧！也许我在那时因身体不适有过很多不当的话语和不当的举动，但谁也没埋怨过我，如像双喜，贾瑞晨等我出了车祸后跑前跑后像我的儿女一样对我，可我有时还是对他发“脾气”。我请他（她）们原谅更感谢他（她）们给我的最珍贵的关心和爱护！

感谢鸟取城北高中的校长渡櫓由章先生级所有教过我女儿的该校老师们！他们虽然没有直接参与我论文的形成，但因为有了上述各位出色的教育和精心的管理我的女儿得以奋发学习天天向上，从而消除了我对女儿的担心。承蒙各位的关照补上了我这个做母亲的失职，这样让我把全部精力投入到了博士论文的撰写。你们的爱心和善心让我们母女俩永远记住的，将来我们一定会像你们学习，以你们为榜样会把这可爱的种子撒向人间让善和爱发扬光大的！

感谢西村静代女士给我解决了种种困难。

感谢我的家族的每一位，他（她）们一直是我坚实的后盾，他（她）们一直对我关爱有加。感谢我的女儿，小小的年纪懂得努力懂得拼搏，与妈妈并肩战斗了多少个日日夜夜，今天终于卖出了成功的一步。她那可爱的小手也是拉妈妈大手的一臂之力，她那小大人的精神永远让妈妈骄傲！感谢鸟取大学农学部原教授藤井喜侧先生，藤井幸子夫妇。由他们的爱心让我支撑，让我重新站起来。永远感谢你们。

感谢日本文部省！感谢实山财团基金会！感谢罗大力民间留学生奖学金组织！读博三年里有这些组织经济上的鼎力相助，我才得以专心学习专心研究。这些组织了解我的情况考虑我的难处，同情我照顾我，确确实实地给我解决了燃眉之急。有一次偶然的机会有幸听说了讨论评定罗大力奖学金时，奖学金组织的上司推举我一个细节——他提起了我申报材料的来日本的目的和精力的部分，此举得到了大家的关注，从而一致通过使我获得2009年的罗大力奖学金。其实这件事让我看到了这些组织的细心和爱心，我又感谢他的举动还要感谢每一位组织的所有成员！他（她）们的无私让我和像我一样的很多人摆脱困境顺利走向成功。

感谢让我当上老师的助手。

最后再次感谢我来日后的第一任指导教授大悟法滋老师，第二任指导教授佐藤芳德老师，第三任指导教授北村义信老师，还有清水克之老师等等。我的一生当中有漂洋过海的机会学习深造的机会

可以说是他们给的。

假如上述的哪一位老师嫌弃我冷落我的话我不可能完成今天的一切。我知道我自己是个博士生当中的弱智幼仔，但因我这些导师们的大智大爱我的笨拙我的急躁我的哭泣我的傻气都被包容了，甚至让他们宠成了丑态百出的大娃娃，大难不死的不倒翁。我由衷地感谢他们成就了我！感谢大家的栽培！假如我失去上述哪一位的支持和帮助，不可能实现今天的一切，承蒙各位的支持和帮助，使我面临的一切困难变成了容易，复杂变成了简单，甚至因祸得福，让我结识了更多的好心人，经历了更精彩的人生。

牛顿有句名言：“如果我看得更远的话，那是因为我站在巨人的肩膀上”。今天我最深刻地理解了这句话，我当然不敢与牛顿相比，我只想引用这位伟人的话突出那些支持我帮助我的老师朋友和亲人们。他（她）们就是用自己的肩膀托举我的巨人！我给一千个感谢！一万个感谢！

付 録

バインタラ地域の衛星画像（1981～2002）.