

# リモートセンシングによる中国内蒙古自治区に おける植生の長期変化に関する研究

額尔德尼

## 目 次

<b>第1章 背景と目的</b>	1
1.1 内蒙古自治区における砂漠化と緑化の評価に関わる課題	1
1.2 陸域における砂漠化現象とその災害	3
1.3 中国における砂漠化の現状と今までの防止対策	6
1.4 砂漠化発生の背景要因（経済と政治面から捉える）	10
1.5 砂漠化防止と砂漠化の把握及び問題点と解決方策	11
1.6 衛星データによる植生変動の解析の背景	13
1.7 本論の目的と構成について	15
 <b>第2章 統計データを用いた内蒙古自治区の土地利用変遷把握</b>	 27
2.1 はじめに	28
2.2 研究対象地の概要及び用いるデータ	28
2.2.1 研究対象地の概要	28
2.2.2 分析に用いた資料	29
2.3 結果及び考察	30
2.3.1 内蒙古自治区12の行政区毎における土地利用統計解析	30
2.3.2 内蒙古全域における牧畜の頭数の変化について	34
2.4 まとめ	36
 <b>第3章 1982-1999年の植生変化についてのNOAA/AVHRRデータを用いた検討</b>	 38
3.1 はじめに	38
3.2 研究対象地	39
3.3 使用データと解析方法	40
3.3.1 NDVIのデータセット	40
3.3.2 植生増加、減少地域の抽出法	41
3.3.3 植生変化面積検討に用いる集計法	43
3.4 結果及び考察	44
3.4.1 内蒙古におけるNDVIの分布	44
3.4.2 植生変化の実態とNDVIの変化の比較	46
3.4.2.1 選定した4地域の概略	46
3.4.2.2 選定地域におけるNDVIの値	48
3.4.2.3 選定地域におけるNDVIの季節変化	49

3.4.2.4 選定地域内の定点における NDVI 増減の特徴	51
3.5 内蒙古自治区全域における NDVI の変化	52
3.6 内蒙古自治区における植生変化	57
3.7 統計資料との比較	59
3.8 まとめ	61
<b>第4章 異なる衛星データの利用及び近年における植生変化の把握</b>	<b>66</b>
4.1 はじめに	66
4.2 使用データと解析方法	67
4.2.1 使用データについて	67
4.2.2 データ解析手法について	69
4.3 結果及び考察	72
4.3.1 選定地域における NDVI の値 (PAL データとの対比)	72
4.3.2 選定地域における NDVI の季節変化 (PAL データとの対比)	74
4.3.3 NOAA/AVHRR PAL データセットと GIMMS データセットとの対比	80
4.3.4 行政区毎における統計データと GIMMS/NDVI データ相関	82
4.3.5 $\Delta$ NDVI による判断した植生増加の面積と統計値との対応	84
4.3.6 異なる NDVI 衛星データ間の比較及び植生変動における考察	86
4.3.7 NOAA/PAL and NOAA/GIMMS 両データ及び統計データの相関比較	92
4.4 まとめ	96
<b>第5章 広域における植生変化の定量的評価—植生劣化地域の特徴について—</b>	<b>101</b>
5.1 はじめに	101
5.2 解析手法及び利用データ	102
5.2.1 利用データ	102
5.2.2 解析手法	103
5.3 結果及び考察	104
5.3.1 土地利用分類と土地利用変化面積検討	104
5.3.2 土地利用分類毎における NDVI のばらつき	105
5.3.3 土地利用分類毎における NDVI 季節性	107
5.3.4 行政区毎における $NDVI_{max}$ の経年変化対比	110
5.3.5 4 地区及び 12 の行政区における $NDVI_{max}$ の時系列変動対比	111
5.3.6 行政区毎における 1980 年代前半の NDVI 区分毎の NDVI 経年変化	115
5.3.6.1 行政区毎における $NDVI_{max}$ の「傾き」考察	118

5.3.6.2	4地区区分毎における $NDVI_{max}$ の「傾き」考察.....	120
5.3.6.3	まとめ.....	121
5.3.7	NDVI 区分毎の季節変化.....	122
5.3.8	$\Delta NDVI$ に基づく土地利用分類毎の面積変化.....	125
5.3.9	土地利用分類における内蒙古全域及び行政区毎の植生変動の面積推定評価.....	129
5.4	まとめ.....	133
第6章 研究総括.....		137
謝辞.....		141

## 目 次

図-1.1	中国全域の標高画像と主な沙地・沙漠地帯の分布図	4
図-1.2	中国における国際林業協力団体分布図	8
図-1.3	広域を対象にした研究区域分布図	17
図-2.1	内蒙古自治区全体図	28
図-2.2	対象地域の行政区毎の面積割合	29
図-2.3	内蒙古自治区行政区毎の土地利用（耕地及び造林面積）統計面積割合	30
図-2.4	内蒙古自治区行政区毎の土地利用（耕地及び造林面積）統計面積	31
図-2.5	統計データに基づく内蒙古自治区の土地利用変化	33
図-2.6	内蒙古自治区全域における耕地・造林面積の統計	34
図-2.7	内蒙古自治区全域における畜産頭数の統計	35
図-3.1	研究対象地の位置図	39
図-3.2	内蒙古自治区とその周辺の土地被覆図	40
図-3.3	土地被覆の相違による NDVI の季節性	41
図-3.4	NDVI に基づく植生変動の抽出概念図	42
図-3.5	内蒙古自治区とその周辺の前期 NDVI <sub>max</sub> の分布	44
図-3.6	内蒙古自治区における前期 NDVI <sub>max</sub> の面積率	45
図-3.7	NDVI の 1982~1999 年（1994 年を除く）の変化	48
図-3.8	4 地域の NDVI 季節変化	49
図-3.9	4 地域の各月 NDVI 平均値の経年変化	50
図-3.10	4 地域における $\Delta$ NDVI と前期 NDVI <sub>max</sub> の関係	51
図-3.11	内蒙古自治区内の $\Delta$ NDVI の分布と前期 NDVI <sub>max</sub> との関係	53
図-3.12	内蒙古自治区全域と前期 NDVI <sub>max</sub> で区分した $\Delta$ NDVI の面積率	55
図-3.13	前期 NDVI <sub>max</sub> と NDVI が変化した面積率の関係	55
図-3.14	$\Delta$ NDVI の (a) 正域（閾値：+0.05）と (b) 負域（閾値：-0.005）の分布	58
図-3.15	内蒙古自治区の行政区毎の造林・耕地化面積率と $\Delta$ NDVI の増加した面積率 ( $\Delta$ NDVI <sub>c</sub> =0.05) の関係	60
図-4.1	AVHRR センサー及び SPOT センサーのバンド比較	68
図-4.2	NDVI データ及び統計データの解析模式図	71
図-4.3	4 地区における PAL/NDVI の 1982~1999 年(1994 年を除く)と SPOT/NDVI の 1999~2008 年 NDVI 経年変化	72
図-4.4	4 地区における GIMMS/NDVI の 1982~2006 年と SPOT/NDVI の 1999~2008 年の経年変化	73
図-4.5	内蒙古を含むアジア全域における 1982~1999 年の年降水量の変動傾向	75
図-4.6	4 地区及び内蒙古全域における 1951~2000 年の年降水量の経年変化	76

図-4.7	4 地区及び内蒙古全域における月別の GIMMS/NDVI 平均値の経年変化	77
図-4.8	Wue et al. 2009 の研究に用いた観測地点の分布図	78
図-4.9	4 地区における GIMMS/NDVI vs. PAL/NDVI の 3 期間の $NDVI_{max}$ 平均値の比較	80
図-4.10	内蒙古 12 の行政区毎における造林・耕地化面積率の経年積算と GIMMS/NDVI に基づく ( $\Delta NDVI > 0.05$ ) 植生増加の面積率の経年積算比較	82
図-4.11	模式図-2 に基づく GIMMS/NDVI ( $\Delta NDVI > 0.05$ ) の面積率と統計値との関係	84
図-4.12	内蒙古全域における造林・耕地化面積率の経年積算と GIMMS/NDVI に基づく ( $\Delta NDVI > 0.05$ ) 植生増加の面積率の経年積算比較	85
図-4.13	内蒙古自治区 12 の行政区毎における 1982~1993 年及び 1982~1999 年の 2 期間の $\Delta NDVI$ の面積率変化の比較 (PAL/NDVI vs. GIMMS/NDVI)	86
図-4.14	AVHRR/PAL データと AVHRR/GIMMS データ対比	88
図-4.15	AVHRR/GIMMS データと SPOT/VGT データ対比	91
図-4.16	内蒙古自治区の行政区毎の造林・耕地化面積率と $\Delta NDVI$ の増加した面積率 ( $\Delta NDVI = 0.05$ ) の関係	92
図-4.17	GIMMS データに基づく行政区毎の $\Delta NDVI$ の増加した面積率と造林・耕地化面積率の関係	95
図-5.1	内蒙古自治区全域における土地利用分類とその面積割合	104
図-5.2	GLC2003 に基づく土地利用区分に対応する NDVI の「ばらつき」関係	106
図-5.3(a)	土地利用毎の NDVI 年間季節性とばらつき変動	107
図-5.3(b)	土地利用毎の月毎の経年変化	108
図-5.3(c)	土地利用毎の月毎の経年変化	108
図-5.3(d)	土地利用毎の月毎の経年変化	109
図 5.4	内蒙古 12 の行政区における 1982~2006 年の $NDVI_{max}$ 年最大値の経年変化	110
図-5.5	4 地域における年最大値 $NDVI_{max}$ の経年変化比較	111
図-5.6	4 期間における内蒙古自治区行政区毎の NDVI 年平均面積率比較	114
図-5.7	行政区毎における 1980 年代前半の NDVI 区分毎の NDVI 経年変化	116
図-5.8	行政区毎における草地区分に対する 1980 年代前半の NDVI 区分毎の NDVI 経年変化	117
図-5.9	4 地域における 1980 年代初期の $NDVI_{max}$ カテゴリ毎の NDVI 経年変化対比	120
図-5.10	土地利用毎における 1982~2006 年の月毎の NDVI の経年変動の傾き比較	123
図-5.11	内蒙古自治区全域における土地利用分類毎の NDVI 面積変化比例	125
図-5.12(a)	内蒙古自治区各行政区における土地利用分類とその面積割合対比	127
図-5.12(b)	内蒙古自治区各行政区における土地利用分類とその面積割合対比	128
図-5.13	内蒙古自治区全域における土地利用分類とその NDVI 変動比較	133

## 表 目 次

表-1.1	中国の沙漠とその面積.....	3
表-1.2	中国の沙地とその面積.....	4
表-3.1	内蒙古自治区の各行政区における造林・耕地化面積と NDVI の増加した地域の面積 .....	59
表-4.1	NDVI(Normalised Difference Vegetation Index)データセット及びその他のデータ利用 .....	67
表-4.2	対比する 3 つの衛星データの期間.....	70
表-4.3	AVHRR/GIMMS 対 AVHRR/PAL データの相関解析結果.....	89
表-4.4	AVHRR/GIMMS 対 SPOT/VGT データの相関解析結果.....	90
表-5.1	GLC2003 に基づく土地利用分類.....	105
表-5.2	12 の行政区における NDVI 区分毎の 1982~2006 年の NDVI 経年変化の「傾き」と相 関係数.....	118
表-5.3	4 地域における NDVI 区分毎の 1982~2006 年の NDVI 経年変化の「傾き」と相関係 数.....	121
表-5.4	内蒙古自治区全域における土地利用分類毎の NDVI 面積変化比例 .....	129
表-5.5	内蒙古全域の植生変動の土地利用分け.....	130

# 第1章 背景と目的

## 1.1 内蒙古自治区における砂漠化と緑化の評価に関わる課題

中国内蒙古自治区は、半乾燥地が主体となる地域で、生態系が脆弱なため環境の変化や土地利用攪乱などによって土地の荒廃が生じやすく、砂漠化、草地と耕地の劣化が憂慮される地域である。また、自然災害の多発地域でもあり、気象変動の影響を受けやすい地域である(王静愛 et al. 1996;阿拉坦図雅 et al. 2005)。その一方で、農地開発と植林活動も活発で、人為の影響によって、長期間にわたる様々な植生の変化が生じている。このため、内蒙古自治区全域を対象に緑化の効果や砂漠化の実態を広域にわたって統一的な基準で示すことが望まれる。しかし、既往の報告では、植生変化の十分な理解になかなか到達しない。その理由は、内蒙古はその東北部の森林地帯から西部の砂漠地帯まで地域的に大きく異なる自然環境があり、自治区を一括した植生増減の集計では地域毎の植生変化の差異が埋没するからである。また、緑化事業地など個別地域における植生変化の記述の集積で、内蒙古全域を網羅的に理解することも対象地域の広さゆえに困難である。本章では、内蒙古自治区における植生変化の既往研究レビューとリモートセンシングを用いた研究レビューを行い、本研究の必要性と研究課題を提示する。

アジア地域における土地被覆変化は、特に乾燥地の土地劣化によるものとされ、世界でも最も注目を集めている。その中で、乾燥地や半乾燥地域の割合面積が最も多く存在する中国大陸においては、砂漠化の懸念もされる一方で植林造成による森林被覆率の変化が最も顕著である。人工林の拡大造成は1949年の新中国の誕生以来、農地拡大の提唱と共に造林面積を拡大しつつ、1980年までに年間平均100万ha造成された(真木太一 1996)。1980年代以降更に「緑の長城」となる国家プロジェクトの立ち上げにより、森林拡大が加速した。国際連合食糧農業機関(FAO)の報告によると2000~2005年における中国の森林面積の増加は世界の各国においても最も森林造成の速度が速く、年間約410万ha(年間2.2%)の森林増加面積を持ち、これが1990年代の年間増加面積に比べれば約2倍に相当する速度で森林造成が行われている。一方で、東南アジア地域においては、熱帯林の減少が顕著であり、森林面積率が平均年間1%にも達する(マルク et al. 2008)。

20世紀末から21世紀初頭にかけての中国における砂漠化は、「三つの増加、二つの減少、一つの転化」とであるとされる。ここで、増加とは①土壌が流失する面積の増加、②砂漠化土



地の面積の増加, ③劣化した草地の増加を示しており, 減少は①耕地の減少, ②湿潤地の減少を, 転化は林地が灌木林や疎林, 草地に変えられてしまったことを指している(王林和, 三木直子, 李玉靈, 楊靈麗, 吉川賢 2008)。中国における環境変動の背景には, 人為的な生態修復による効果が大きいと考えられる。過去 10 年間で中国の環境保護への投資は大きく増加し, 2005 年には同年 GDP の 1.31% に相当する 2,388 億元に達した。それに応じて, 植林などによる植生の増加について, 中国全体では 1990 年代の年平均造林面積は 4 万  $\text{km}^2$  であり(Ge 2001) (国家林業局. 2007), 中国全体の森林被覆率は 1949 年の 8.6%, 1978 年の 12.7% から 2007 年には 18.2% に達し, 砂漠化拡大の勢いは鈍化していると報告されている(中華人民共和国年鑑編集部 2000) (中国人民共和国国務院新聞弁公室 2006)。

一方で, 内蒙古自治区では, 植生劣化について, 1950 年代以降に過耕作や過放牧, 過伐採などによる砂漠化の進行が大きな環境問題とされてきた。上述したように砂漠化の要因には不適切な耕地開発が要因の一つである。1978 年から 1987 年にかけて耕作地面積が 15.4% 減少した(根本正之 et al. 1988), (Zhu 1993; Zha 1997)。しかし, その後 1987 年から 1996 年にかけて逆に 22.1% 増加の報告(Yang, Li 2000)がある。また, 内蒙古自治区においては, 1978 年から始まった三北保護林政策が 2000 年までに第 3 期を終え, 一定の効果をあげてきたことが報告されている(劉建新・馬瑞萍. 1999)。三北保護林政策によって内蒙古における 2 万  $\text{km}^2$  以上の耕地や 2 万  $\text{km}^2$  以上の草原が保護され, 内蒙古自治区における元々の生態環境が維持されつつ, 修復されている。特に, 植生被覆率の少ない砂地や脆弱な生態地域において「植林・植草」を行い, 植生被覆率が上昇し生態環境が良くなった。例えば, ホルチン砂地と毛烏素砂地という 2 大砂地における森林被覆率はそれぞれ 20% と 15% 以上に達した。

また, 内蒙古全域の森林被覆率が 1947 年の 7.7% から 2006 年の 17.6% まで上がり, 当初から 2006 年までに約 20.7 万  $\text{km}^2$  の緑化事業と造林事業を進めたと報告され(国家林業局. 2007), 森林面積の統計面積から人工林面積が全国一位になる。しかしながら, 三北保護林などの造林面積報告に関して異論もあり, 活着率がわずか 40% 程度であるとされ, 張らは造林面積の統計が不正であると指摘する(Zhang, 2003)。ホルチン砂地では 1980 年代以降に 5,472  $\text{km}^2$  の緑化が行われたが, 逆に同期間内に砂漠化した土地面積はその 2.5 倍であるという報告(Zhang, 2003)や, 三北保護林政策の重点地区における植生の状態に関しては継続的な悪化も指摘されている(Miao 2005)。

これらの文献から, 近年の緑化事業の進展は窺えるが, 内蒙古自治区内で緑化が進んだ主な地域や, 植生劣化が引き続き生じている地域との位置関係などの情報が乏しいため, 生態環境の保護や継続的な土地利用が困難であると考えられる。また, 乾燥地における砂漠緑化は進められてきたが, 緑化される地域の降水量や土壌的な条件によって, 緑化による植樹の生育状況も変わっていく。つまり, 地域において緑化の成果が異なることが考えられる。しかし, 生態修復にあたってはこれらすべての条件を満たした施策がないため, 生態修復による回復状況が大きく異なる。地域において, どのような植生変遷過程であるかを把握するのも, 生態修復にとっては重要な知見である。

## 1.2 陸域における砂漠化現象とその災害

### 砂漠と砂漠化の概念において

砂漠化における概念の不統一により,研究者や各機関における砂漠化面積の統計数値に大きく差が生じ,砂漠化の真相が掴めない状態であると言われている(Chen 2001)。そこで,本研究における砂漠化における概念においても,資料文献に出てくる概念との比較を簡略に記述する。資料文献では,「沙漠」と「沙地」における概念を概ね以下のようにまとめられている(孫锦涛 1994;馬世威 et al. 1998)。

#### 「沙漠」と「沙地」について

沙漠 (Sand desert, Sandy desert) とは乾燥地域(C.W. Thornthwaite 湿潤指数<0.20)の地面に細かな砂利などの物体が拡散し,風によって塊の形が各種の形に変形する砂丘であり,砂丘間では起伏状が続くような地帯を指す。沙地とは,半乾燥地域・半湿潤・湿潤地区における土地被覆が自然及び人間要因の影響を受け,砂漠化や風食などにより,土地が極端な風食状態になった土地を沙地と称する。

以上の両概念において,「沙漠」は日本語でも同様な表記があり,「砂漠」とも記述する。日本の文献では,「沙漠」とは植生が少ないかまったくない状態であり(佐藤一郎 1985),砂状の土地が広がっている土地を指す。「沙地」は,日本語では一般的に「砂地」と表現され,土地利用などによる土地の劣化が起ることによって,地表面の裸地化などの現象が生じている土地を指す。

馬らの「沙漠学」に,中国における沙漠と沙地を表-1.1,表-1.2に示し,その分布を衛星データに基づき図-1.1を作成した。

表-1.1 中国の沙漠とその面積

名称	英語名	面積(万 km <sup>2</sup> )
タクラマカン(塔克拉玛干)沙漠	Takla Makan Desert	33.76
グルバントングト(固尔班通古特)沙漠	Gurbatunggut Desert	4.88
クムダグ(庫姆達格)沙漠	Kumtagh Desert	2.28
チャイダム(柴達木)盆地沙漠	Qaidam Desert	3.49
バダンジリン(巴丹吉林)沙漠	Badain Jaran Desert	4.43
テンゲル(騰格里)沙漠	Tengger Desert	4.27
ウランブヘ(烏藍布和)沙漠	Ulan Buh Desert	0.99
クブチ(庫布齊)沙漠	Hobq Desert	1.61
合計		55.71

表-1.2 中国の沙地とその面積

名称	英語名	面積(万 km <sup>2</sup> )
モーウソ(毛烏素)沙地	MuUs Sandy Land	3.21
ホンシャンドッグ(渾善達克)沙地	Hunshandake Sandy Land	2.38
ホルチン(科尔沁)沙地	Horqin Sandy Land	5.06
フルンベル(呼倫貝爾)沙地	Hulun Sandy Land	0.91
合計		11.56

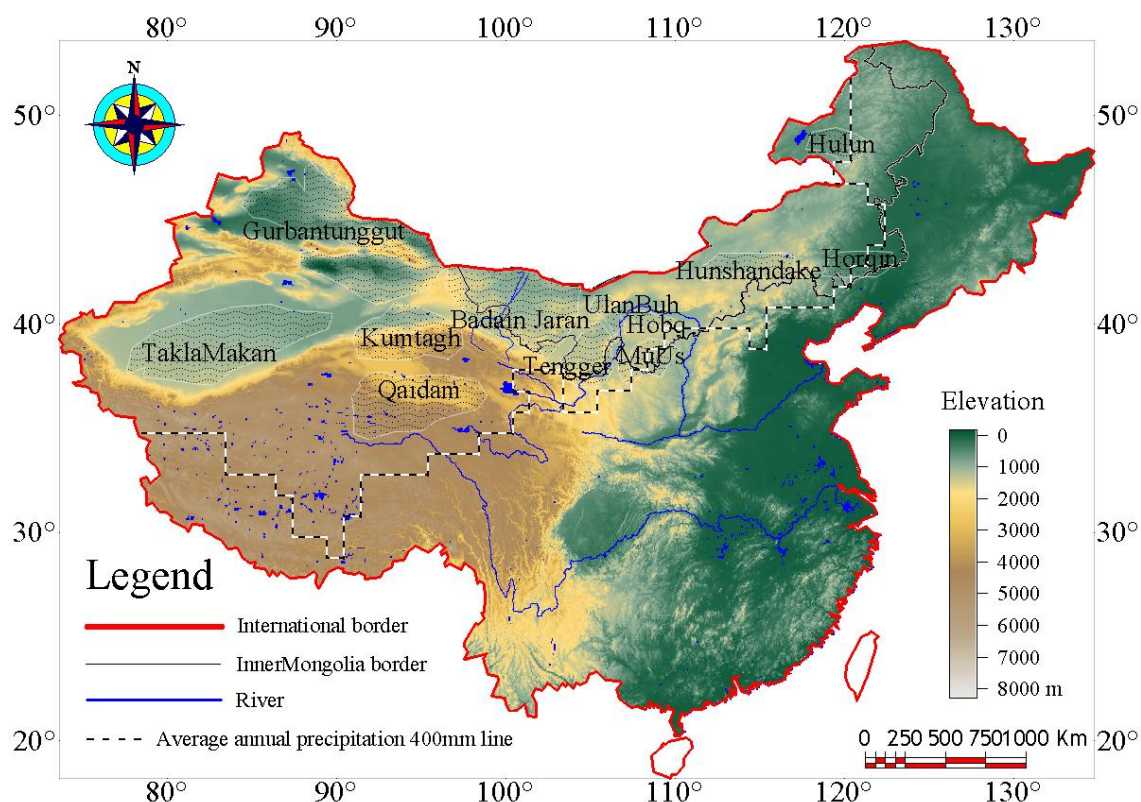


図-1.1 中国全域の標高画像と主な沙地・沙漠地帯の分布図  
(DEM データ及び GLC2003 土地利用データと降水量データに基づいて作成)

図-1.1 の作成には、DEM データ及び 2000 年の年降水量データ (Global Precipitation Climatology Centre) (NOAA 2010)と GLC2003(Tateishi et al. 2008)の土地利用分類データを用いた。点線は 2000 年の年降水量に基づき、年降水量が 400mm の線（点線の北側が 400mm 以下であり、南側が 400mm 以上を示す）である。図-1.1 から中国における沙漠地帯及び砂地の分布と気候帯の分れ目が一目瞭然に分かる。年降水量が 400mm の線がほぼ内蒙古自治区の境界線に沿った形になり、内蒙古自治区の気候において年降水量がほぼ 400mm 以下の厳しい気候帯であることが分かる。そして、主な沙漠地帯及び砂地は中国西部の新疆ウィーグル自治区及び中国北部の内蒙古自治区に分布することが分かる。砂漠化は、

人間要因及び自然条件によって土地の劣化が生じると知られているが、ここに示す年降水量 400mm の線の意味が大きく、内蒙古自治区における気候帯の自然条件を反映する。もちろん、干ばつや降水量の多い年には降水量の分布も異なるが平年における降水量の分布特性が土地利用及び植生分布を決める重要な気象要素である。このような気候帯の条件を踏まえて、新疆ウィーグル自治区及び内蒙古自治区における、砂漠化の進行している要因の一つはこの過酷な気候帯の分かれ目によるものでもあると考えられる。また、砂漠緑化による植林の樹木生長の条件を決める年降水量がこの 400mm にもあると言われる。特に乾燥地においては、植物の生育を規定する第一の要因は水であるとみられ(Tatsuaki 1996)、この 400mm ラインが農業や植林・植草などの緑化できる境目とも考えられる。つまり、この線より北側における自然条件下では、砂漠緑や環境改善の厳しいことが示唆できる。こうした自然条件の降水量 400mm ラインが内蒙古自治区の遊牧地帯と昔からの漢民族の農業地帯の境界線にもなる。

### 「荒漠化」と「沙漠化」について

砂漠化においては、狭義の砂漠化と広義の砂漠化によって、定義される範囲が大きく異なると言われている。狭義での砂漠化は植被地が裸地になる現象を指し、広義の砂漠化は湿潤地域を含めた土地・植生の退行現象全般を指す(武内和彦 1991)。なお、中国での砂漠化の用語の使用時期においては、文化大革命以前までは飛砂・堆砂などの砂に関わる被害の文献が多くあるが、砂漠化という用語を使い始めたのは朱らにより砂漠化(荒漠化)が定義されてから一般的に使われるようになった(朱震達・劉。1981)(真木太一 1996)。

荒漠化(Desertification)とは、気候変動及び人間要因などの影響を含めさまざまな要因による乾燥・半乾燥及び亜湿潤乾燥地域の土地劣化を指す。「沙漠化」(Desertization)とは、極端な乾燥、乾燥、半乾燥及び一部半湿潤地区条件下での「沙地地質」の土壌においては、生態系が脆弱なため自然及び人間要因の影響を受けやすく、生態系のバランスが崩れ、風食などによる土地の荒廃が生じる過程を言う(馬世威 et al. 1998; Yasuyuki, EnHe. 2005)。

Desertification という言葉は、1985 年頃にはまだ辞書に載っていなかった言葉であり、砂漠化という現実から生まれた新造語とも言われている(佐藤一郎 1985)。日本の文献などで多く用いられている砂漠化と、中国語の文献に出る「沙漠化」と「荒漠化」との違いがはっきりとされていないが、日本語の文献では一般的に「砂漠化」という表現用語を用いるのが多いようである。この表現が上述の両表現を含めた定義とも理解しがちである。日本の文献に用いられる砂漠化とは大陸規模で進行している土地荒廃という現象のなかで、特に乾燥気候の卓越する地域で生じている環境悪化のプロセスを指す(小泉博 et al. 2000)。一方で「沙漠化」と表現する文献では、「沙漠化」の現象について、上述したように単なる面的広がり現象ではなく、それを要因関係から以下のように説明する。「沙漠化」は、潮が満ちてくるように面的に広がる現象ではなく、遊牧民が季節的に一時的に定住している周辺、家

畜の飲用水のために掘った井戸の周辺, 点在して分布している乾燥農業集落の人口の急増など, 巨視的に見れば点から拡大する現象であると説明する(赤木祥彦 2005)。

以上のように「沙漠」と「砂漠」における定義が多くあり, 砂漠化に対する認識も異なることが分かる。本研究においては, 上述したように土地荒廃である植生減少を抽出する研究目標であるため, 後述の「砂漠化」という表現用語を用いることで, 土地利用の劣化などを表す。

### 1.3 中国における砂漠化の現状と今までの防止対策

砂漠化及び土地荒廃による面積は, 世界の陸地の 1/3 を占め, 砂漠化及び土地荒廃が乾燥地域における最も深刻な大陸規模の環境問題であり, その面積が乾燥地面積の 7 割を占める。中国における砂漠化問題は, 何十年の戦いを経て砂漠化の速度と緑化などによる生態回復の速度が逆転されたと報告されている。中国における砂漠化の面積は, 1949 年に 60 万  $\text{km}^2$  から 1980 年代に 130.8 万  $\text{km}^2$  に拡大された(朱震達・呉正, 1980)。1980 年代により, 大規模な生態修復政策が取ってきたが, 1999 年の調査報告によると砂漠化面積が 174 万  $\text{km}^2$  に達したと報告され(祝光耀 2006), 国土面積の約 18.1%を占め, 日本の国土面積の 3 倍以上もある。こうした土地劣化による経済損失が毎年 540 億元に達し, 4 億人の生存に影響を与えていると報告された(中華人民共和国国務院 2005)。このような実態をもたらした要因は, 経済利益を求め, 不適切な土地利用によるものとされる。もともと脆弱な生態地域に人口増加・過度放牧・過開墾などの過剰な環境負担により, 砂漠化の速度がますます増加し, 土地の劣化を招いたと言っても過言でもない。砂漠化の速度については, 1970 年代頃 1,500 $\text{km}^2$ /年で進み, 1980 年代には 2,100 $\text{km}^2$ /年まで増加し, 1990 年代末までには 2,400~3,400  $\text{km}^2$ /年になったと言われている(小柳秀明 2007)。中国環境保護局の報告書によると 1994~1999 年において, 中国西部のゴビ砂漠がたった 6 年間で 52,400 $\text{km}^2$  拡大された(Brown 2003)。

中国の潜在的な砂漠化土地(Potentially desert land)面積を合わせると約 332 万  $\text{km}^2$  に達し, 国土面積の 1/3 の 35%にも達する。耕地から砂漠土地に転じる土地利用の荒廃による砂漠化面積が拡大しつつある(Chen et al. 2004)。こうした耕地化により砂漠化される主要要因は, 過度な開墾及び不適切な水利用と及び地下水の過剰利用による乾燥地の塩害などによりもたらされると指摘する(Tatsuaki 1996;宋力平, 尚杰 1998;烏力吉図 2002)。特に, 半乾燥地におけるステップ土地利用から耕地利用の開拓は, 最も砂漠化し易い土地利用であると指摘する(Kawanabe et al. 1999)。例えば, オルドス地区(旧名・伊克昭盟)においては, 1980年代初頭開墾による砂漠化の進行が草原面積の8割以上に及んでいたと指摘する(小島麗逸 1997)。黄土高原及びオルドス高原における不適切な耕地開発は, ガリ(浸食谷)浸食による土地劣化をもたらす(Valentin et al. 2005)。当然ながら, もともと脆弱な土地において, このような不適切な土地利用は土地劣化を加速し, 砂漠化面積を拡大したと捉えられる。

また、このような砂漠化地域が中国の西部と北部となる新疆ウィーグル自治区、チベット高原及び内蒙古自治区に分布し、ここは少数民族が多くいる内陸地である。

近年、砂漠化による黄砂の被害が国際環境問題まで発展し、日本や韓国からも砂漠化の拡大を阻止するように中国に国際協力を行っている(根本正之 1993;Yasuyuki,EnHe. 2005)。その黄砂の発生源は、ゴビ砂漠及び内蒙古西部と推測され(後藤雄史, 呼子敬明, 日下たかし 2002), 内蒙古西部のアラシャ盟やオルドス地区にも日本の NGO 緑化団体が黄砂の発生源である地域に植林活動を多く行われてきた。例えば、故・遠山正瑛氏らの緑化団体は 1990 年より 2001 年までに 300 万本の植林を実現し、フィリピンのラモン・マグサイサイ賞の「平和・国際的相互理解分野」の受賞で好評された(白鳥正夫 2003)。他にも、日本の元小渕総理が 99 年の訪中時に提唱した日中国際協力基金は、日本の市民団体等が中国で緑化協力を行うことを奨励するため、100 億円規模の基金が設置され、2000 年～07 年の 8 年間ににおいて合計 27 億 3000 万円の助成を行い、植林面積が 2 万 6400ha に達し、中国の環境建設に大きく貢献された(JICA 中国事務所 2003) (井出敬二 2008)。2004 年に中国では「中華人民共和国防沙治沙法」を徹底させ、砂漠化防止を目標とした国際連合条約「United Nations Convention to Combat Desertification-UNCCD」を履行する(UNCCD 2006)ために、全国において第 3 次全国荒漠化・砂漠化調査を行った。その報告によると 1999 年より 5 年間ににおいて年間約 1,283km<sup>2</sup> の速度で砂漠化面積を減らしたと報じられ、21 世紀における中国の生態改善を強調する(国家林業局. 2007)。

図-1.2 は、JICA (国際協力機構) 中国事務所の 2003 年の報告に基づき、再作成した日本の NGO 団体及び他国の国際林業協力団の分布を示す図である。図-1.2 から、国際協力の分散は主に中国の北部及び南部に集中し、西部にはほぼない状態である。砂漠化の拡大に伴い、草原の利用面積や農地面積の縮小により、経済的な損失も拡大しつつある。また、砂漠化に起因する黄砂発生は、その発生頻度や被害の拡大も増加しつつある(GaoShangYu 2000)。これにより、黄砂の観測や黄砂による被害調査を行い、経済損失額の指標を用いて評価を行い、砂漠化問題をもっと重視するようになった。砂嵐による黄砂が国境を超え、国際環境問題になりつつあり、その発生源を阻止するように国際協力を得ているのが前述した NGO や ODA などであろう。砂嵐による被害として一番最近のニュースでは、甘粛省に 2010 年の 4 月 24 日に起きた砂嵐は 10 級以上の暴風が 3 時間続き、これによって 1 名の死者と火災などの被害を合わせると 7.52 億元の経済損失になったと報告された(殷春永・侯志雄. 2010)。

JICA (国際協力機構) 中国事務所の 2003 年の報告によると、中国に植林などの環境活動をしている 93 個の日本の NGO 団体が中国全土に拠点を置き、その他に日本の ODA (政府開発援助) や他国の国際協力機関が中国に拠点を広げ、中国における生態修復への国際協力も大きい。



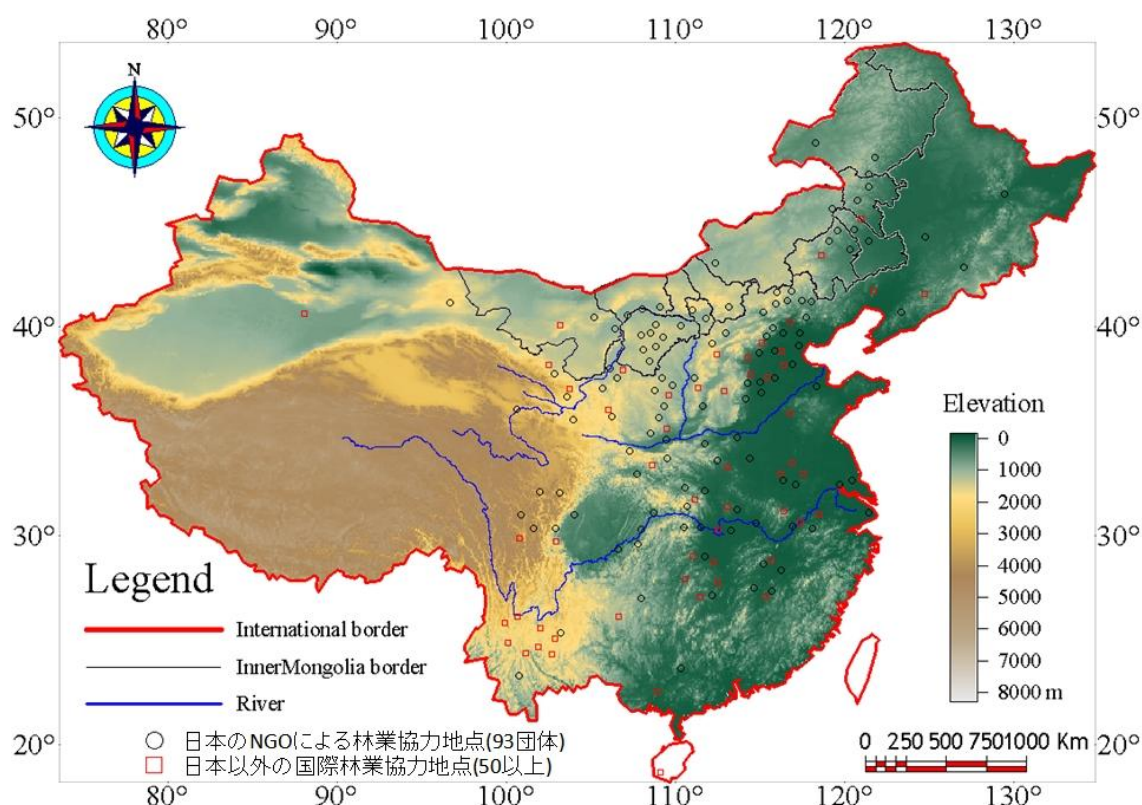


図-1.2 中国における国際林業協力団体分布図

JICA の資料データに基づき再作成(JICA 中国事務所 2003)

21 世紀に入ってから、日中関係が迷走していく中、環境面での国際協力は政治に動揺され、継続性が求められる環境改善の見通しが懸念される。中国の環境改善においては日本に学ぶべき点が多くあり、様々な環境破壊を経験してきた日本における防止対策や環境保護の対策が未経験の中国には欠かせない存在である。世界から尊敬される 100 人の日本人の多くは中国にいとされ(朱建榮 2010)、その内多くが環境保全や農業技術面などでの貢献者であることが分かった。例えば、前述した故・遠山正瑛氏はクブチ沙漠に緑を入れた「緑色大使」とされ、「オルドス市名誉市民」などの称号を得て、銅像が建立された程の中国人に感謝された人物である。また、黄土高原の植林事業に 18 年余り奮闘してきた高見邦雄氏や中国の稲の品種改良に大きく貢献した故・原正市氏らは中国の環境改善に技術面だけでなく、高見邦雄氏の曰く「大地に木を植えるだけでなく、人の心に木を植えている」という意識の教育使者でもある(朱建榮 2010)。

中国では、砂漠化防止対策が 1980 年代初期以来「緑の長城」と称して、植林をし始めた。その中で、最も大きく取り上げた国家プロジェクトは「三北防護林」対策である(国家林業局)。名の通り中国の西北・華北・東北の三方から生態保護対策が始まった。このような対策は、砂漠化の拡大を防止することにより、農耕地や牧草地などの保護にもつながり、経済効果大きい。もう一つの大きな目標は、北京などの中国の中心地帯への黄砂などによる被

害を防ぐ役目になる。年間 30 万トンの黄砂が北京などの主要都市域を襲うため、経済的なダメージも大きい。近年、黄砂における研究も増え、黄砂に付着する菌などにより、人間の健康にも悪影響をもたらしているとされ(Takamichi et al. 2008)、黄砂を防ぐ重要さが注目されている。

中国における 6 大プロジェクト(①天然林保護 ②退耕還林 ③京津風沙源治理 ④「三北」と長江流域の重点保護林体系建設 ⑤野生植物保護及び自然保護区建設 ⑥重点地区の木材基地建設)による生態系保護対策から、中国の環境に対する意識の転換と経済力の上昇が反映されている。この 6 大プロジェクトの中で良く知られている前述した「三北防護林」プロジェクトとは、「三北防護林体系建設総体規劃」の略称であり、最も建設期間が長く、1978 年 11 月 25 日より定められ 2050 年までに 3 つの建設段階を分け、8 つの工程期間において、総面積 406.9 万  $\text{km}^2$  に及び、国土面積の 42.4% を占める生態建設の国家プロジェクトである。元国家林業局局長周生賢氏の 2001 年 2 月 15 日の報告では、中国の人工林面積が 466,667  $\text{km}^2$  に達し、世界一の人工林面積を持つ国家となり、森林被覆率が 16.55% までに回復したと報告した(周生賢 2001)。その中、国家プロジェクトであり内蒙古自治区と関わりが大きいのは、①「三北防護林帯工程」 ②「黄河中流域防護林工程」 ③「遼河流域の総合改善防護林帯建設工程」 ④「防砂治砂工程」などが上げられる(国家林業局重点工程稽查弁公室 2002)。2005 年の FAO 報告(FAO 2005)によると 2000 年以降における中国の森林面積が最も増加傾向であり、2000~2005 年においては、年間約 4 万  $\text{km}^2$  の森林拡大増勢がある。

本研究の対象地域となる内蒙古自治区においては、上述した各国家プロジェクトによる生態修復面積率が大きく、森林や植生被覆率の上昇による生態改善の効果が大きく、中国北方地域における重要な生態ラインを描くことができたと報告されている。中国全国における森林資源第 7 次調査報告によると 2008 年までに、内蒙古自治区に有する林業用地面積が約 44 万  $\text{km}^2$  あり、土地面積の 37.2% を占める。森林面積が 23.67 万  $\text{km}^2$  に達し(森林被覆率が 20% に相当)、全国一位の森林面積を有し、この 10 年間に累積 7.8 万  $\text{km}^2$  の林業生態建設目標に達し、年平均 0.78 万  $\text{km}^2$  速度で林業拡大事業を行ってきた。経済成長期にあつて、10 年間に約 370 億元の莫大な投資をかけてやっと緑化する速度と砂漠化する速度の逆転に達し、砂漠化を食い止めたといふにこの実績を勝利に唱える(賀勇 2009)。

一方で、局部地域においては環境対策の適用が逆効果をもたらし、土地劣化を招いたという指摘もある。7 割の草原面積を有する内蒙古自治区においては、牧畜産業が盛んであり、生態保護対策として①草地分割利用制度の導入(1984 年に分配制度を導入(DeeMackWilliams 1997)) ②退耕還林・還草③禁牧政策などの政策が実施されてきたが、一部の地域では伝統となる遊牧スタイルの放牧様式が壊れ、固定された柵内の放牧制度により、草原の負荷がより増加し持続的な再生産が危惧される状態であるという地域例も挙げられる(今村俊明, 大黒俊哉, 白戸康人 2000; ソドスチン 2006; 星野仏方, Saixiyalatu, 佐藤藍, 中村修平 2010)。禁牧制度の拡大と生態移民対策などにより、伝統ある遊牧文化の破



壤と土地の劣化を拡大される懸念も生じている(児玉香菜子 2006)。モンゴルの遊牧生活に多年携わってきた日本の研究者でも、従来の遊牧型牧畜経営方式こそ、モンゴルの草原生態の継続利用の鍵であるという見方をする(小長谷有紀 2001)。前述したように、砂漠化の拡大要因は、単なる人的要因とも言い切れない、自然条件によって干ばつなどによる影響も大きい。干ばつによる生態系への影響は、局地から広域に及び、生態系の生物生存量を数十年単位で変えていく(後藤恵之輔 et al. 1999)。一方で、人的要因による生態系への影響は、数年或いは月単位で生態系を変えてしまう。砂漠化を防止する対策として、内蒙古自治区では、牧畜を営んできた先住モンゴル民族に対して「生態移民」という対策が与えられた(小長谷有紀, シンジルト, 中尾正義 2005)。砂漠化などの理由で「生態移民」が始められたのは 1980 年代頃だったが(李寧, 龔世俊. 2003), 大規模に実行されるようになったのは, 2000 年からである。その後内蒙古の各地に生態移民村などが建設され, 生態移民政策に拍車をかけた。例えば, 経済の高成長であるオルドス市においては, 移民の区域が 2007 年より現在に至って全市土地面積の 24.5%に及ぶ(韓晶 2010)。「生態移民」政策を打ち出した政府機関から, この政策による生態改善が見られたと継続的な実施方案を促している。オルドス市における毛烏素砂地が分布するウーシン旗においては, 禁牧と同時に「生態移民」政策を実施した結果, 土地の植生被覆率が実施前の 15%から実施後の 40%まで回復し, 1970 年代に比べれば 2 倍以上の植生被覆率が上がったと報じられた(方弘 2007)。しかし, 生態移民の裏腹に「生態移民」から「生態難民」の声も忽ち増えるようになり, その理由はいろいろあるが焦点は元住民の地元には地下資源が大量にあり, 生態移民された後に土地利用の利益分配にめぐって社会の不安を招いていると指摘される(肖尧 2008)。2006 年までに 65 万人の移民が行われたが, 現状からみると移民村における安定的な循環型社会作りや移民たちの家庭収入を維持するのが一番肝心なところである。経済の勢いが良い時期には, 「生態移民」や「退耕還林・還草」などの政策における農牧民への補助金などで従来の収入を保証しているが, これらの政策の継続性及び補助金などの保障制度が終わった時の各面での懸念が多いと指摘される(初春霞, 孟慧君. 2005; Peng 2006)。

#### 1.4 砂漠化発生の背景要因（経済と政治面から捉える）

乾燥地における砂漠化や土地劣化は自然的・社会的特性からさまざまな要因関係が考えられる。発展途上国における環境問題の真の原因は人口増加と貧困であると言われる。中国における砂漠化の進行及び森林伐採などによる環境破壊の要因もここにあると思われる。内蒙古自治区における砂漠化問題の背景には, 人口増加の要因が大きいと考えられる。人口増加に伴い, 食料需要の増加による農地開発が拡大され, 草地の荒廃や水資源の不足を引き起こしてしまう(劉昌明 et al. 2003)。例えば, 黄河流域の断流や黒河流域の断流などの河川や湖水域などの枯渇問題が増える一方であり, 中国北部の水資源不足の現れである(近藤昭彦 et al. 2001; 国際協力銀行開発金融研究所 2004)。また, 中国の林業政策は, 森林資源の経

経済的効用の重視から森林資源の生態的効用の重視へと大きく転換しつつある(陳鐘善 2005)。しかし、経済的効用の考慮を外してはならない存在であり、生態修復を建前に経済収益を重視した植林により、乾燥地の気象条件などに適さない樹種や造林が行われている。従って、中国における砂漠化防止を名目に極端な利益を求めた事例も多々あり、植林に適しない地域にも過剰な拡大造林が行われ地下水の過剰利用や水循環の懸念も指摘され、適地植林が乾燥地における緑化の重要で注意すべき課題でもある。例えば、内蒙古緑化などに良く利用される樹種として用いられるヤナギ (*Willow, Salix spp.*) やポプラ (*Poplar, Populus spp.*) においては、水消費量が  $4.8\text{mm/m}^2$  (6,7 月) であり、 $1\text{dry-kg}$  の生産に  $5000$  以上の水が必要とされ、年間降水量が  $600\text{l/m}^2$  以下の場合には灌漑が必要である(財団法人機械システム振興協会 2007)。蒸発散量は、植被率に依存していて、植被率が大きいほど蒸散の比率が大きくなる(松浦陽介 2005)。特に、乾燥地においては、蒸発散量が重要であり、土地利用による実蒸発散量を超える可能蒸発散量が局地的に生じていると指摘される(近藤昭彦 1996)。このような水消費量が乾燥地の降水量を超える樹種においては、大規模な植林による植栽密度上昇に伴って、間接的に年々の地下水の低下が起りうることが指摘され(OHTE et al. 1992)、植林の限度を超えた場合かえって土地の荒廃を招くこともあると指摘される(鈴木雅一 1989)。一方で、降水量の大きい地域においては、森林による水文調和機能が働き、河川流域の流量調整となる「緑のダム」機能が評価されている。中国長江上・中流域における 1980 年代の森林伐採による洪水発生率が増加され、洪水の被害が大きかった。これによる森林の生態保全機能が再評価され、長江上流域における森林再生対策が行われてきた(Shi, Li 2001)。中国の森林被覆率の変遷からみると 1934 年の 9%から 1948 年の 8.6%, 1993 年の 13.9%, 1999 年に 16.8%, 2005 年に 18.2%, 2009 年末に 20.4%に達した。しかし、世界一位の人工林面積を持つ中国の森林においては、森林分布の不均一性(主に中国の南西区及び東北に分布する)や林齢構造(華東区における若齢：中：熟齢林の比例が 5:4:1)の不合理や用材林の不足などの実態がある(石培礼, 徐晋涛, 2000)。こうした林業建設政策により、中国の林業政策が森林資源の経済効用の重視から生態効用へと変わりつつある。一方、森林資源に頼ってきた地域住民の生活保護及び森林保護の意識の改変をさせる必要があるという難しい面もある(陳鐘善 2005)。

## 1.5 砂漠化防止と砂漠化の把握及び問題点と解決方策

砂漠化に関する背景要因においては、様々なインパクト関係が存在する中、人的要因が 87%と気候的要因の 13%を大きく上回り、砂漠化への影響が最も大きいと言われている(Ostwald, Chen 2006; 井上光弘 2010)。人的要因には、耕地化による要因・過放牧・人口増加などがあげられる中、結局内蒙古自治区においては過放牧が主要要因とされ(厳綱林, 宮坂隆文 2003) (関谷正明, 全亮, 2009)、禁牧政策が取られ、生態移民政策まで発展した。しかし、放牧よりも耕地化による土壌劣化への影響が大きい(宮坂隆文, 大黒俊哉, 趙哈林,

趙学勇, 武内和彦 2008)内蒙古自治区においては耕地面積が拡大しつつある。「退耕還林・還草」対策が砂漠化防止対策としては、重視されてきた対策であり、2000年より全国的に適用されてきた対策である。しかし、内蒙古自治区においては、耕地面積が全国の中唯一増加傾向であると報告された(LiMao 2003; 芮文 2007)。内蒙古自治区は、最も耕地化影響を受けた土地としては、最も還林・還草すべき地域であると考えがちであるが、逆に耕地が拡大しつつある。砂漠化などの要因関係を根本から探ると結局人口増加によるものであり、食料需要による開墾開発が行われ、人口増加に伴って従来の遊牧スタイルができなくなり、定住化した地域内で過剰利用となる過放牧の背景要因である(蘇德斯琴, 小金沢考明昭,

2001; 杜富林 2005)。この事例研究としては、オルドスのウーシン旗における定住化された事例が挙げられ、定住化によって移動式放牧や牧地面積が縮小化し、牧畜にかかる費用の増大と共に現金収入の必要性が過放牧を促進した(Kodama 2003)。

乾燥・半乾燥地域においては、土地劣化による砂漠化問題以外に水資源の不足問題も重要な課題の一つである。中国北部地域における水資源の不足に対して、「南水北調」プロジェクトを立ち上げ、長江の上流・中流・下流の3ヶ所から河川水を引水し、西部地区と華北地区に引水する国家プロジェクトである。「南水北調」の三つの引水線路の中央線と東線は、2003年から着工し、2010年に完成される予定であり、東線は既に完成が報告された。中央線は、黄河の下をトンネル貫通する計画であり、これも開通し、かなり進んだ模様である。西線は長江の上流の通天河、長江支流の雅竜江と大渡河の3本の河川から年間約200億 $\text{m}^3$ の水を取水でき、青海省、甘肅省、寧夏回族自治区及び内蒙古自治区陝西省、山西省の6省区に給水するビックプロジェクトである(井上京 et al. 2003)。中国の南北東西のエネルギー資源の到達や水資源の確保に向けて、大に対策が打たれ進展と展望が見られる中(楊鳳林 et al. 2005)、管理体制や社会主義の本質である「和諧社会」作りには、「環境友好型社会の構築」と「資源節約型社会の構築」が環境政策の基本方針として位置づけられている(井熊均, 王婷. 2010)。

## 1.6 衛星データによる植生変動の解析の背景

近年、リモートセンシングを用いた解析による広域の植生変化を論ずる試みが進展し、地球環境変動の予測モデルの構築により、気象変動や土地利用の変遷などがリモートセンシングによって明らかにされた事例が多く挙げられる。例えば、R. B. Myneni らは広域を対象に約 18 年間ほぼ同じ精度で全球をカバーするリモートセンシングデータである NOAA/AVHRR データから求められた正規化植生指標（NDVI： Normalized Difference Vegetation Index）の経年変化によって、全球の陸面植生変化の解析(R. B. Myneni 1997)とシベリア地域(酒井秀考, 鈴木力英, 近藤昭彦 2008)などの地域毎での解析がなされている。これらの研究は、「夏期の NDVI 増減から植生変化が生じた地域を抽出する研究(Ma 2003)と、1980 年代以降に特に北緯 45 度以北の北半球高緯度地域において NDVI が増加していることを示し、地球温暖化に対応した植物活性の増加が顕著であることを指摘した研究(R. B. Myneni 1997)に代表される「気候変化と対比して近年の植物活性の変化を論ずる研究」に区分される。しかし、内蒙古全域を対象とした解析はいずれの視点の研究も報告されていない。

NDVI は近赤外域と可視光赤色域の分光反射率から算出される指標であり、NDVI 値が高いほど植生が多い状態と対応する(日本リモートセンシング研究会 1994)。NDVI を用いた研究では植生図の作成を始めとして植生の実態評価がなされ、その有効性が示されてきた。内蒙古地域を対象に NDVI を用いて植生の分類、季節変化や気象との相関を示す研究事例が多くあり(川村健介 et al. 2003; Wang, Tenhunen 2004; Kang et al. 2005) (巖網林, 宮坂隆文, 2005; Wang 2007), バイオマスの生産量を推測した事例も挙げられる(栗屋善雄 et al. 2004), (Brogaard et al. 2005), (Tan et al. 2007)。

土地利用変遷のグローバルな把握については、衛星データの利用が欠かせないことであり、衛星データの活用が重要であることが分かる。図-1.3 に示すのは、①~⑧の地域区分における NDVI データを用いた文献における対象の分布図である。図-1.3 に示す色づけは本研究の第4章に検討した手法に基づき作成した図である。しかし、本研究では図-1.3 に示されたグローバルスケールにおける植生変動を考察内容に入れてない。

- ① 中国広域における長期植生変動及び季節変動(Fang et al. 2003), (Xingkui et al. 2004), チベット高原地域における植生変動, (Immerzeel 2008), SPOT/VGT の NDVI データを用いた中国北部における最近の植生変動(LiuShulin et al. 2009), 全アジアの環境変動地域の抽出(建石隆太郎, 黄少博, 石山隆 2001), 中国の水田面積の分布(Takeuchi, Yasuoka 2006), 森林火災焼失地の抽出(Silva et al. 2004), 中国における植生変動の分類(Li, Shi 1999)
- ② 北半球の植生変動(Slayback et al. 2003; R. B. Myneni 1997), モンゴルにおける植生変動及び気象変動の関係(Akihiko, Ichirow 2003)
- ③ ボルネオ島における降水量の年々変動が植生に与える影響(Idris et al. 2005)
- ④ オーストラリア地域における Pathfinder AVHRR Land (PAL) データの再構築(Lovell, Graetz

2001)

- ⑤ アフリカサハラ砂漠周辺地域の植生変動の抽出(Eklundh 2003;Funk 2006), (Ben Heumann 2007), (Hay et al. 2006), (Rasmus Fensholt)
- ⑥ 北米・カナダ地域における植生変動参照文献(Slayback et al. 2003;Scott J. Goetz 2005)
- ⑦ 南米地域における生態系変動の評価(Germán Baldi 2008), ブラジルの植生変動及び要因関係(Yoshikawa,SangaNgoieKazadi. 2009)
- ⑧ 全球 NDVI と気象要素(Ichii et al. 2002), (Xiao,Moody 2005) , 大陸規模における土地被覆分類の空間分解能の重要性を示す (Townshend et al. 1991)

上記の文献などから NDVI データのグローバル利用は、幅広い分野に及ぶことが知る。多くの研究文献から広域を対象とする土地利用の評価を行うには、評価基準を統一することが最も重要であると言える。土地利用の変遷の一つである砂漠化において、その拡大及び縮小について広域把握の定量評価が様々であるのは、統一された評価基準が取られてないためである。砂漠化の推定について、研究者によって評価基準が統一されていないため、砂漠化の把握について評価も異なると指摘する(高永 et al. 2003)。高永らは、砂漠化評価指標の統一した基準がないのは、研究者ごとの砂漠化の認識の相違によるものであると指摘する。最近衛星データの利用したリモートセンシング手法が土地利用変化を評価する最も効果のある手法であると認識されつつある。その理由は、リモートセンシング手法の広域性（広い地域を観測可能なこと）、均質性（同一のセンサで観測できること）、周期性（一定の時間間隔で観測できること）、継続性（長期間にわたって観測を続けられること）の特徴を活用できるからである。しかし、データの相違性や対象地域及び対象期間によって、評価基準も異なることで、情報錯綜状態になりがちである。

正規化植生指数(NDVI)は、植物の吸収する可視光線の量と純一次生産量（NPP）や葉面積指数(LAI)などと比例することが知られ、植生特性及び植生被覆の変動を求めるために、広く用いられるようになっていく。NDVI 指数が植生の特性及び植生の被覆率との関係に基づいて、ノア衛星の AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)センサー取得データから NDVI 換算（NDVI の算出法などについては、次章に言及しているため、ここでは省略）を行い、NDVI データとして植生変動を推測する研究事例が多くある(秋山侃 et al. 2006)。NDVI データがこのように幅広く使われるのも 1981 年半ば以降のデータ利用が可能であり、長期間の時系列データが利用可能であり、広域に適用されているためである。AVHRR センサーが搭載されたノア衛星は、1978 年に打ち上げられ、観測された数値データは 1981 年半ば以降により保管され、その後 NDVI データの利用が可能となった。

しかし、広域を対象とした衛星センサーによって取得されたデータには、雲などのノイズ情報が多く含まれている。これらの不要なノイズ情報を除去するには、処理法によってデータの性質（特性）が変わるので、各種の処理法によって蓄積されている。従って、研究目的

に応じて適した解析手法を用いるのが重要であり、利用できるデータの性質特性を十分に理解し、データに対する認識も重要である。

砂漠化の現状把握及びその変動過程を把握することは、砂漠化の防止及び砂漠緑化による生態回復や持続的な土地利用においては、極めて重要である。衛星利用の発達につれ、土地利用解析には衛星リモートセンシング手法が欠かせない分野となり、砂漠化の分野でも幅広く利用されてきた。しかし、それらには①スケールが大き過ぎて実用性に乏しい②時系列での評価が難しい③自然条件などの他の気候要素との検討が少ない④グランドトゥース情報が少ない上、現地情報との検討がされてないため、信憑性を欠く⑤砂漠化現象の定量的な把握が少ない⑥最近のデータ利用を重視し、長期期間における考察が少ないなどの面々の研究課題もあげられる。

### 1.7 本論の目的と構成について

本研究では、約 25 年間の長期間に亘るデータ解析を通して、行政区単位での植生変動を時系列解析で行い、各行政区間における統計データとの検討を加え、衛星データと地上データとの相関解析から対象地区における植生変動の要因及び植生変遷を明らかにすることを目的にする。

内蒙古自治区における土地利用変遷である砂漠化と緑化や耕地などによる植生増減過程を解析にあたって、解明すべき論点としたのは植生の「長期的時系列変化、空間分布及びどの程度の変化であるか、そして今はどのような状態であるか、その確実性は？」の 5 点である。

#### 「時系列変化」

1980 年代・1990 年代・2000 年半ばまでの期間において、継続性のある同一の基準を用いた解析から、植生増減の時系列変遷を求める。

#### 「空間分布」

植生増減の変動を地域区分で比較を行い、どの地域に植生変動が生じ、その地域分布特性を探る。

#### 「どの程度」

植生変動に伴う植生の被覆率の変化を長期時系列変化と空間分布で示す上、その変動を定量的に示すことにより、各地域における植生変動を定量評価する。

#### 「現在」

2000 年代初期に入ってから、生態保全・修復対策の増加に伴う植生変動の特性の現状把握を試みる。

#### 「確実性」

異なる仕様のデータ利用を用いた検証と統計データとの検証から植生変動の確実性を検討する。

本論では、以下の構成内容となっており、6章に分けて議論した。

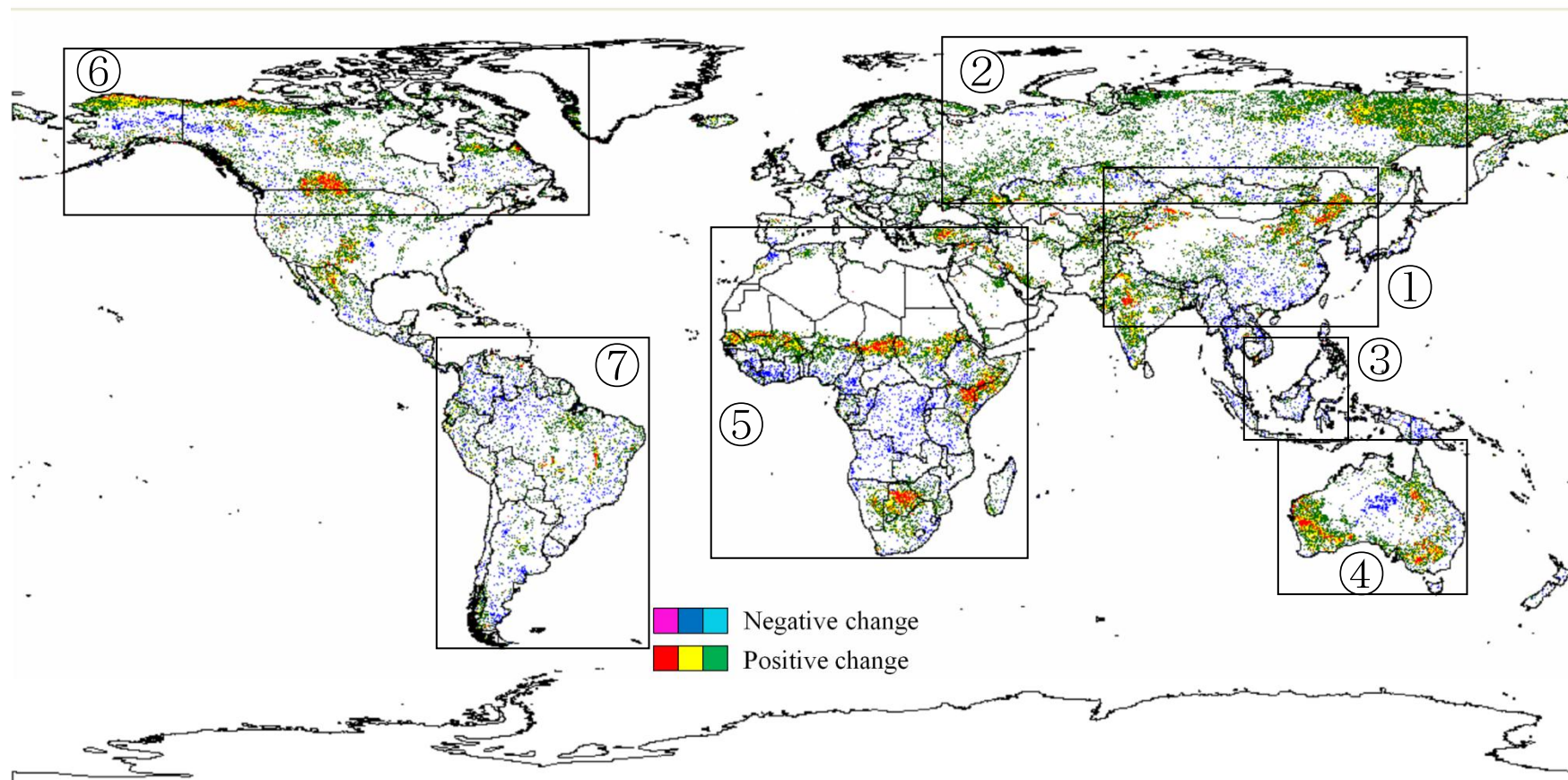
- ① NDVI 時系列データセット NOAA/AVHRR PAL を用いた NDVI 特性分類による植生分布状況の把握
- ② 統計資料データに基づいた、植生変化の実態把握と NDVI データに基づく検証
- ③ 衛星データに基づく内蒙古全域の植生変動の面積推定とその空間分布推定
- ④ NDVI 時系列データセット NOAA/AVHRR GIMMS を用いた 2000 年以降の植生分布状況の把握
  - a. 異なるデータ処理法から得られた NOAA/AVHRR GIMMS 及び NOAA/AVHRR PAL 両データの検証 (1982~1999 年)
  - b. 異なる衛星シリーズの NDVI データ, SPOT/VGT と NOAA/AVHRR GIMMS データとの検証比較 (1982~2006 年)
  - c. 2000 年以降の植生分布特性と植生変化の把握
- ⑤ 1980 年代前半の NDVI 区分とその変化プロセスの解明

上記の構成内容を下記の 6 章にまとめた。

内蒙古自治区における植生が増加したか劣化したかを、本研究の第 3 章で解析する。内蒙古全域において、1980 年代から 2000 年代半ばにかけて、植生増加が生じたか或いは植生劣化の面積が拡大されたかを検討する。また、内蒙古における植生変動はどこで増加しているか、どこで植生劣化が生じたかの空間分布を第 3 章及び第 5 章をもって明らかにする。植生増加や植生劣化は、もともとどのような土地利用から変遷したかを解析し、植生変遷過程を解明する。また、これらの植生変動は「いつ」発生したかを第 4 章において明らかにする。第 5 章では、植生減少・劣化した地域を特定し、その地域における植生変化のプロセスを明らかにする。最後の章では、本論文で得られた知見をまとめて総括とした。

図-1.3 広域を対象にした研究区域分布図

$$\Delta\text{NDVI} = \overline{\text{NDVI}_{\text{max}}(2002 \sim 2006)} - \overline{\text{NDVI}_{\text{max}}(1982 \sim 1986)}$$





## 引用文献

- 王静愛, 史培軍, 王平, 朱驪, 張惠遠. 1996: 1949~1990 年中国自然災害時空間分析研究. *自然災害学報* 5(1). in Chinese.
- 阿拉坦図雅, 堀口孝春, 槇島敏治, 前田潤. 2005: 内モンゴルの自然災害と救援活動ー 内蒙古日報社および内蒙古テレビ取材資料調査よりー. *室工大紀要* 55:51-59.
- 真木太一. 1996: *中国の砂漠化・緑化と食料危機*. 信山社出版.
- マルク, カ., ム. ダニエル, セ. フランシス, ア. アリッド, ワ. スウェン, ジ. マ. ローラ, eds. 2008: 木はお金で育つか? 「森林減少と森林劣化に由来する排出削減 (REDD)」に対する森林減少研究からの示唆. ジャカルタ: 国際森林林業研究センター.
- 王林和, 三木直子, 李玉靈, 楊靈麗, 吉川賢. 2008: 中国の砂漠化防止に関する歴史及び現在. *日本緑化工学会誌* 33(4):554-560.
- Ge, Q. S., Zhao, M.C., Zhang, X.Q. and Zhen, J.Y. 2001: Statistical analysis about the changes of forest resource and precipitation in China over the past 50 years. *Journal of Natural Resources* 5:413-420. (in Chinese with English abstract).
- 国家林業局. 2007: 2007 年度中国林業発展報告. 中国林業出版社.
- 年鑑編集部. 2000: *中華人民共和国年鑑*. Vol. 20(下巻): 中華人民共和国年鑑社.
- 國務院. 2006: *中国環境保護白書 (1996-2005)*. 北京: 中国人民共和国國務院新聞弁公室.
- 根本正之, 福原道一, 陳佐忠, 程心俊. 1988: 中国北部における砂漠化の現状と衛星データによる解析. *農環研報* 6:75-97.
- Zhu, Z. D., Wang, T. . 1993: Trends of desertification and its rehabilitation in China. *Desertification Control Bulletin* 22:27-29.
- Zha, Y., Gao, J. . 1997: Characteristics of desertification and its rehabilitation in China. *Journal of Arid Environments* 37(3):419-432.
- Yang, H., and X. Li. 2000: Cultivated land and food supply in China. *Land Use Policy* 17 (2):73-88.
- 劉建新.馬瑞萍. 1999: 中国内蒙古における生態系環境の改善. *立命館産業社会論集* 35(3):85-96.
- 国家林業局. 2007: 第3次中国荒漠化及び沙漠状況公報: 中央政府部門ネットワークセンター.
- Zhang, L. X., and Song , Y.Q. 2003: Efficiency of the three-north forest shelterbelt program. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis* 39(4):595-600. (in Chinese with English abstract).
- Miao, P. 2005: The systematic defect of "Three North Project". *Protection Forest Science and*

- Technology* 64:48-49. (in Chinese with English abstract).
- Chen, G. 2001: Origins of Arguments on the Area of Desertified Lands in China. *Journal of Desert Research* 21(2):209-212, (in Chinese with English abstract).
- 孫錦濤. 1994: 內蒙古生態環境予警与整治对策. 內蒙古人民出版社, in Chinese.
- 馬世威, 馬玉明, 姚洪林, 王林和, 姚雲峰. 1998: 沙漠学. フフホト市: 內蒙古人民出版社
- 佐藤一郎. 1985: 地球砂漠化の現状—乾燥地農業と緑化対策を中心として—. (株) 清文社.
- NOAA. 2010: GPCC Precipitation Data Set: Earth System Research Laboratory.
- Tateishi, R., Bayaer., A. G. Mohamed, H. Al-Bilbisi., J. Tsendayush., A. Shalaby., A. Kasimu., N. T. Hoan., T. Kobayashi., B. Alsaideh., M. M. Rahman., and E. Tsevenge. 2008. Global Map-Global Land Cover (GLCNMO) 123.
- Tatsuaki, K. 1996: Transpirational Effects of Plants and Vegetation in Arid and Semi-arid Areas. *Hydrology. Journal of Japanese Association of Hydrological Sciences* 26 (2):127-134
- 武内和彦. 1991: 地域の生態学. 朝倉書店.
- 朱震達. 恕劉. 1981: 中国北方地区的沙漠化過程及其治理区劃. 林業出版.
- Yasuyuki, H., and EnHe. 2005: Chinese Inland Development and Water : Circulation Project in Inner : Mongolia : Concerning East Water Introduction To West Desert Strategy Project. *The quarterly report of economics* 54 (2):101-180
- 小泉博, 鞠子茂, 大黒俊哉. 2000: 草原・砂漠の生態—新・生態学への招待. 東京: 共立出版.
- 赤木祥彦. 2005: 沙漠化とその対策 乾燥地帯の環境問題. 東京: 財団法人 東京大学出版会.
- 朱震達. 吳正. 1980: 中国沙漠概論. 北京: 科学出版社.
- 祝光耀. 2006: 以科学發展觀為指導在發展中推進生態環境保護.
- 中華人民共和國國務院. 2005: 國務院, 「防砂治砂」事業の更なる強化に関する決定, edited by 國務院. 北京: 國務院.
- 小柳秀明. 2007: 高度經濟成長下の中国環境問題—「環境問題のデパート」中国の行方—. 東京: 財団法人地球環境戦略研究機関 (IGES) .
- Brown, L. R. 2003: China Losing War With Advancing Deserts *Appropriate Technology* 30(3):6-7.
- Chen, Z., J. Zhu, and X. Xu. 2004: ESTIMATING DESERT AREA OF CHINA FROM NDVI DATA, 1981-2000. *International Center for Climate and Environmental Sciences*.
- 宋力平, 尚杰. 1998: 我が国の耕地資源の持続利用及びその管理政策について. *国土与自然資源研究* 2:23-26.
- 烏力吉図. 2002: 内モンゴル高原における砂漠化の一要因—經濟史の観点から—. 現代社会

- 文化研究 24 (13458485):215-232.
- Kawanabe, S., Y. NAN, S. ZHANG, T. OSHIDA, Z. Kou, D. JIANG, M. FURUTA, and N. TAKADA-OIKAWA. 1999: A Change of Vegetation and Soil of the Desertified Grasslands in the Process of Recovery : 1. At the sites of the sand dune and the flat sand land. *Journal of Japanese Society of Grassland Science* 44 (4):336-341.
- 小島麗逸. 1997: <中国経済スケッチ>環境・生態系問題(8)1982年の環境・生態系状況(2). *中国経済* 375(03):74-91.
- Valentin, C., J. Poesen, and Y. Li. 2005: Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena* 63 (2-3):132-153.
- 根本正之. 1993: ホルチン砂地の砂漠化の現状. *日本緑化工学会誌* 18 (3):190.
- 後藤雄史, 呼子敬明, 日下たかし. 2002: MODIS 画像を用いた長距離輸送シミュレーションによる黄砂発生源の推定. *日本リモートセンシング学会秋季学術講演会論文集* 33:63-64.
- 白鳥正夫. 2003: 「文化」は生きる「力」だ!—中高年のための体験的ぶんか考. 東京: 株式会社光陽メディア.
- JICA 中国事務所. 2003: 中国で植林・植草活動を行っている日本の民間団体一覧表・砂漠緑化民間団体報告.
- 井出敬二. 2008: 日中経済力, 相互理解の実績と展望. Paper read at 中国の緑化を! 日中 NPO と ODA との協力の下で, at 東京.
- UNCCD. 2006: CHINA NATIONAL REPORT ON THE IMPLEMENTATION OF THE UNITED NATION'S CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION: China National Committee for the Implementation of the UNCCD.
- GaoShangYu, S., HaSi, PanYaoZhong. 2000: Causes of Rapid Expansion of Blown-sand Disaster and Long-term Trend of Desertification in Northern China. *Journal of Natural Disaster*:1-7. in Chinese with English abstract.
- 殷春永, 侯志雄. 2010: 甘肅省砂嵐に遭われ, 120 万人が被害を受け, 経済損失が 7 億元に達した. *中国新闻网*, 2010,04,26.
- 朱建榮. 2010: 中国で尊敬される日本人たち. 東京: (株)中経出版. pp.252-277.
- 国家林業局. 国家林業局西北華北東北防護林建設局. 国家林業局 [cited. Available from <http://www.tnforestry.cn/>, (in chinese).
- Ichinose, T., M. Nishikawa, H. Takano, and N. Sera. 2008: Health effects of KOSA(Atmospheric Bioaerosol: Sciences in New Trend,Symposium). *Japan Society for Atmospheric Environment* (49):69.
- 周生賢. 2001: 局部の調整を突出させ, 生態建設を促進させ, 新世纪を乗り越える林業発展を実現させる. In *全国林業庁局長会議*, edited by 国家林業局. 北京,(in Chinese).
- 国家林業局重点工程稽查弁公室. 2002: 林業局重点工程 資金稽查工作手冊. 哈爾濱: 哈爾

- 浜工業大学出版社, (in Chinese).
- FAO. 2005: Global Forest Resources Assessment 2005, Progress towards sustainable forest management. *FAO Forestry Paper* 147:20-21.
- 賀勇. 2009: 内蒙古森林面積が全国一位に. *人民日報*.
- DeeMackWilliams. 1997: Patchwork, Pastoralists, and Perception: Dune Sand as a Valued Resource Among Herders of Inner Mongolia *Human Ecology* 25:297-317.
- 今村俊明, 大黒俊哉, 白戸康人. 2000: 中国内モンゴル自治区奈曼旗における放牧圧の推定と砂漠化防止対策効果. *国際環境研究協会* 5 (1):3-8
- ソドスチン. 2006: 中国・内モンゴル自治区における農牧業に関する地理学的研究. 博士論文, 地学専攻, 東北大学大学院理学研究科, 仙台.
- 星野仏方, Saixiyalatu, 佐藤藍, 中村修平. 2010: 中国・内モンゴルにおける草原の沙漠化と緑化をめぐる. *日本沙漠学会* 20 (1):43-48
- 児玉香菜子. 2006: 巨大な移民村の出現. *月刊みんぱく* 10:14.
- 小長谷有紀. 2001: 定住化過程におけるモンゴル族の牧畜経営. *現代中国の民族と経済* 185-207
- 後藤恵之輔, 中村裕昭, 栄利耕, eds. 1999: 生態系管理へのリモートセンシングと GIS の活用. 東京: コジ・テクノシステム.
- 小長谷有紀, シンジルト, 中尾正義. 2005: 中国の環境政策生態移民—緑の大地, 内モンゴルの砂漠化を防げるか?: 昭和堂.
- 李寧, 龔世俊. 2003: 寧夏地区の生態移民において. *哈尔滨工業大学学报(社会科学版)* 1:19-24, (in Chinese).
- 韓晶. 2010: オルドス市における高額保障制度による土地の衰弱区域における生態移民について. *新華ネットニュース*, (in Chinese).
- 方弘. 2007: ウーシン旗における生態移民による禁牧生態改善の記事. *内蒙古日報*.
- 肖尧. 2008: 内蒙古自治区生態移民が数年も経ち, 生態移民が難民になれた. *内蒙古新聞ネットニュース*, (in Chinese).
- 初春霞, 孟慧君. 2005: 内蒙古生態移民に直面する問題及びその対策について. *中国北方経済* 6, (in Chinese).
- Peng, H. 2006: Research on Social Evaluation of Turning the Cultivated Land into Forests or Grasslands Project in Heihe River Basin—Take Zhangye Prefecture in Gansu Province as an Example—. *Research of Soil and Water Conservation* 13(6):204-207, (in Chinese with English abstract).
- 劉昌明, 定方正毅, 鄧南聖, 高玉葆, 宋献方, 吉野正敏, 藤田佳久, 樫根勇. 2003: 中国と東アジア世界の生態環境問題 [持続的発展と環境問題をめぐる方法的アポリア]. Paper read at 愛知大学 21 世紀 COE プログラム国際シンポジウム, 激動する世界と中国—現代中国学の構築に向けて—, 2003 年 10 月 31 日, at 名古屋.

- 近藤昭彦, 田中正, 唐常源, 佐倉保夫, 嶋田純, 芝野博文, 劉昌明, 張万軍, 胡春勝, 劉小京, 李紀人, 陳建耀, 沈彦俊. 2001: 中国華北平原の水問題. *水文・水資源学会誌* 14 (5):376-387.
- 国際協力銀行開発金融研究所. 2004: 中国北部水資源問題の実情と課題－黄河流域における水需給の分析－, 152.
- 陳鐘善. 2005: 中国における林業政策の変遷と吉林省にみる森林管理の展開過程, 11-42.
- 財団法人機械システム振興協会. 2007: 革新的バイオマス利用システム有望シナリオに関する調査研究: 財団法人・地球環境産業技術研究機構.
- 松浦陽介. 2005: 衛星データを用いたモンゴル半乾燥域における土地被覆と蒸発散量の推定. 修士論文, 地球物理学専攻, 東北大学大学院理学研究科, 仙台.
- 近藤昭彦. 1996: アジアの植生・土地被覆変化による広域蒸発散量変化の推定. *千葉大学環境リモートセンシング研究センター年報* 1:12.
- Ohte, N., S. Kobashi, Y. Yu, and H.-L. Yao. 1992: Numerical Analysis of Transpiration Influence with Reforested Trees on Fluctuation of Groundwater Level in Mu Us Desert, China. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology* 18 (1):1-11.
- 鈴木雅一. 1989: 毛烏素沙地の地下水位変化と蒸発散量. In *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－*, edited by トヨタ財団助成研究報告書: 内蒙古沙漠開発研究会, 117-124.
- Shi, P., and W. Li. 2001: Influence of forest cover change on hydrological process and watershed runoff. *Journal of Natural Resources* 16(5). in Chinese with English abstract.
- 石培礼. 徐晋涛. 2000: 中国森林衰退の実態分析. (in Chinese).
- Ostwald, M., and D. Chen. 2006: Land-use change: Impacts of climate variations and policies among small-scale farmers in the Loess Plateau, China. *Land Use Policy* 23 (4):361-371.
- 井上光弘. 2010: 砂漠化とその原因. 鳥取大学乾燥地研究センター 2010 [cited 11/09 2010]. Available from [http://www.geocities.jp/soil\\_water\\_mitchy11/DesertCause.htm](http://www.geocities.jp/soil_water_mitchy11/DesertCause.htm).
- 巖網林, 宮坂隆文, 2003: コルチン砂地における砂漠化の進行過程と政策影響に関する時空間分析. 森基金 2003 年度研究助成報告書 2003 [cited. Available from <http://www.kri.sfc.keio.ac.jp/report/mori/2002/a-kokusai/a-6/kokusai6.htm>].
- 関谷正明. 全亮. 2009: 中国における砂漠化拡大に関する一考察-中国内モンゴルの事例調査-. *千葉大学大学紀要* 2:49-60.
- 宮坂隆文, 大黒俊哉, 趙哈林, 趙学勇, 武内和彦. 2008: 中国ホルチン砂地の土地荒廃における農・牧業インパクトの違い. *日本草地学会誌* 50:30-31.
- LiMao, Z. 2003: Provincial difference in cultivated land and grain productivity in

- CHINA. *Resources science* 25(3):49-56. in Chinese with English abstract.
- 芮文. 2007: 内蒙古自治区が全国において唯一の耕地面積増加地域となった. *新華ネット通信*.
- 蘇德斯琴. 小金沢考明昭. 2001: 環境教育教材としての砂漠化—中国内モンゴル自治区の草原劣化を事例にして—. *宮城教育大学環境教育実践研究センター* 4:51-57.
- 杜富林. 2005: 中国内モンゴルにおける持続可能な牧畜業に関する研究, 自然科学研究科資源管理科学, 岡山大学.
- Kodama, K. 2003: Socio-economical Dynamics of Mongolian Pastoralists under Chinese Socialist-Market Economy : A Case Study of a Seasonal Migratory Group of Pastoralists in the Center of Inner Mongolia, China. *Journal of arid land studies* 13 (1):69-80
- 井上京, 盛内洋代, 松岡延浩. 2003: 近年の黄河の流況と水資源問題. *農業土木学会大会講演会講演要旨集*:896-897
- 楊鳳林, 劉志軍, 成英俊, 川島裕貴, 古川憲治. 2005: 中国北部都市域における水環境問題とその対策. *日本水処理生物学会誌* 41 (1):41-50.
- 井熊均. 王婷. 2010: *中国環境都市*. 東京: 日刊工業新聞社.
- R. B. Myneni, C. D. K., C. J. Tucker, G. Asrar & R. R. Nemani. 1997: Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature* 386(6626).
- 酒井秀考, 鈴木力英, 近藤昭彦. 2008: 衛星データによる近年の東シベリアにおける植生変化のシグナル抽出. *水文・水資源学会誌* 21(1):50-56.
- Ma, M. G., Dong, L.X., and Wang, X.M. 2003: Study on the dynamically monitoring and simulating the vegetation cover in northwest China in the past 21 years. . *Journal of Glaciology and Geocryology* 25(2): :232-236. (in Chinese with English abstract).
- 日本リモートセンシング研究会. 1994: *図解リモートセンシング*: 日本測量協会.
- 川村健介, 秋山侃, 富久尾歩, 汪詩平. 2003: 1-15 中国内蒙古草原の保全と利用 : 9. 地上部現存量、タンパク質含有率およびタンパク質量の季節変化と衛星 NDVI からの推定. *日本草地学会誌* 49:30-31.
- Wang, Q., and J. D. Tenhunen. 2004: Vegetation mapping with multitemporal NDVI in North Eastern China Transect (NECT). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 6 (1):17-31.
- Kang, M., S. Liu, X. Huang, S. Dong, and P. Shi. 2005: Evaluation of an Ecological Security Model in Zhazilte Banner, Inner Mongolia. *Mountain Research and Development* 25 (1):60-67.
- 巖網林. 宮坂隆文. 2005: 衛星データによる砂漠化進行の時系列分析と農業政策による影響の考察—中国内蒙古自治区ホルチン砂地を事例として—. *総合政策学ワーキングペーパーシリーズ* 65:1-19.

- Wang, H., Li, X.B., Li, X. and Ying, G. . 2007: The variability of vegetation growing season in the northern China based on NOAA NDVI and MSAVI from 1982 to 1999. *Acta Ecologica Sinica*. *Acta Ecologica Sinica* 27(2):504-515, (in Chinese with English abstract).
- 栗屋善雄, 小谷英司, 庄大方. 2004: 衛星データを利用した全球一次生産の推定:陸域生態系の純一次生産量の分布 (特集:地球の炭素循環と一次生産) *国際環境研究協会* 9 (2):231-238.
- Brogaard, S., M. Runnstrom, and J. W. Seaquist. 2005: Primary production of Inner Mongolia, China, between 1982 and 1999 estimated by a satellite data-driven light use efficiency model. *Global and Planetary Change* 45 (4):313-332.
- Tan, K., S. Piao, C. Peng, and J. Fang. 2007: Satellite-based estimation of biomass carbon stocks for northeast China's forests between 1982 and 1999. *Forest Ecology and Management* 240 (1-3):114-121.
- Fang, J., S. Piao, C. B. Field, Y. Pan, Q. Guo, L. Zhou, C. Peng, and S. Tao. 2003: Increasing net primary production in China from 1982 to 1999. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1 (6):293-297.
- Xingkui, X., L. J. Kevin, and U. Hiromasa. 2004: Monitoring Anthropogenic Effects on Land-surface phenologies in China from AVHRR using the Discrete Fourier Transform. *Disaster Prevention Research Institute Annuals* 47:227-242.
- Immerzeel, W. 2008: Spatial modelling of mountainous basins an integrated analysis of the hydrological cycle, climate change and agriculture *Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap, Faculteit Geowetenschappen Universiteit Utrecht*:145.
- ShulinLiu, TaoWang, JianGuo, JianjunQu, and PeijunAn. 2009: Vegetation change based on SPOT-VGT data from 1998–2007, northern China. *Environ Earth Sci*.
- 建石隆太郎, 黄少博, 石山隆. 2001: 全アジアの環境変動地域の抽出のための時系列衛星データによる土地被覆変化の検出. In *科学研究補助金データベース: 千葉大学環境リモートセンシング研究センター*, 1-73.
- Takeuchi, W., and Y. Yasuoka. 2006: Mapping of Fractional Coverage of Paddy Fields Over China Using MODIS 250m Data. *Journal of the Remote Sensing Society of Japan* 26 (3):213-223.
- Silva, J. M. N., J. F. C. L. Cadima, J. M. C. Pereira, and J. M. Gregoire. 2004: Assessing the feasibility of a global model for multi-temporal burned area mapping using SPOT-VEGETATION data. *International Journal of Remote Sensing* 25 (22):4889 - 4913.
- Li, X., and P. Shi. 1999: Research on Regulation of NDVI Change of Chinese Primary Vegetation Types Based on NOAA/AVHRR Data. *ACTA BOTANICA SINICA* 3,

- (in Chinese with English abstract).
- Slayback, D. A., J. E. Pinzon, S. O. Los, and C. J. Tucker. 2003: Northern hemisphere photosynthetic trends 1982–99: Blackwell Science Ltd, 1-15.
- Akihiko, K., and K. Ichirow. 2003: Preliminary Analysis on the Relationship between Vegetation Activity and Climatic Variation in Mongolia. *Journal of arid land studies* 13 (2):147-151.
- Idris, M. H., K. Kuraji, and M. Suzuki. 2005: Evaluating vegetation recovery following large-scale forest fires in Borneo and northeastern China using multi-temporal NOAA/AVHRR images. *Journal of Forest Research* 10 (2):101-111.
- Lovell, J. L., and R. D. Graetz. 2001: Filtering Pathfinder AVHRR Land NDVI data for Australia. *International Journal of Remote Sensing* 22 (13):2649 - 2654.
- Eklundh, L. 2003: Vegetation index trends for the African Sahel 1982–1999. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS* 30(8):1430.
- Funk, C. C., and M.E. Brown. 2006: Intra-seasonal NDVI change projections in semi-arid Africa. *Remote Sensing of Environment* 101:249-256.
- Ben Heumann, J. S., Lars Eklundh, Per Jönsson 2007: AVHRR Derived Phenological Change in the Sahel and Soudan, Africa, 1982 - 2005. *Remote Sensing of Environment* 108(4):385 - 392
- Hay, S. I., A. J. Tatem, A. J. Graham, S. J. Goetz, D. J. Rogers, A. G. Simon I. Hay, and J. R. David. 2006: Global Environmental Data for Mapping Infectious Disease Distribution. In *Advances in Parasitology*: Academic Press, 37-77.
- Rasmus Fensholt, T. T. N. S. S. Evaluating the quality of AVHRR Pathfinder NDVI data for the African continent using SPOT-4 Vegetation data. *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography* 106(1):87-102.
- Scott J. Goetz, A. G. B., Gregory J. Fiske, and R. A. Houghton. 2005: Satellite-observed photosynthetic trends across boreal North America associated with climate and fire disturbance. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United states of America* Vol.102 No.38:13521-13525
- Germán Baldi, M. D. N., Roxana Aragón, Fernando Aversa, José M. Paruelo, Esteban G. Jobbágy 2008: Long-term Satellite NDVI Data Sets: Evaluating Their Ability to Detect Ecosystem Functional Changes in South America. *sensors* 8 (9):5397-5425.
- Yoshikawa, S., and SangaNgoieKazadi. 2009: Vegetation change and causes of changes in Mato Grosso using GIS and NOAA/AVHRR data. *Theory and applications of GIS* 17 (2):145-154.
- Ichii, K., A. Kawabata, and Y. Yamaguchi. 2002: Global correlation analysis for NDVI



- and climatic variables and NDVI trends: 1982-1990. *International Journal of Remote Sensing* 23 (18):3873 - 3878.
- Xiao, J., and A. Moody. 2005: Geographical distribution of global greening trends and their climatic correlates: 1982-1998. *International Journal of Remote Sensing* 26 (11):2371 - 2390.
- Townshend, J., C. Justice, W. Li, C. Gurney, and J. McManus. 1991: Global land cover classification by remote sensing: present capabilities and future possibilities. *Remote Sensing of Environment* 35 (2-3):243-255.
- 高永, 戸部和夫, 虞毅, 予雲江, and 清水英幸. 2003: 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 66-78.
- 秋山侃, 塚直樹, 小川茂男, 岡本勝男, 斎藤元也, 内田諭. 2006: 農業リモートセンシング・ハンドブック. Edited by システム農学会. 筑波: 佐藤印刷(株).

## 第2章

# 統計データを用いた内蒙古自治区の土地利用変遷把握

### 2.1 はじめに

中国では、耕地面積に関しては3種類の統計データがあり、一つ目は従来から国家統計局が公表するものであり、二つ目は国家土地管理局が1990年代以降発表したものであり、そして三つめは第1回農業センサス調査の結果である。しかし、この三つの統計結果は三者三通りであることが示され、統計データの信憑性について指摘が多い(沈金虎 2007)。広域における土地利用調査においては、統計データの利用が欠かせないものであるが、十分に検証する必要がある。

土地利用変遷を把握するには、その地域における土地利用変遷の過程や要因関係を解析することが重要である。特に、土地利用における耕地面積や造林などの統計は、最近になって国における環境保全や食糧問題などの指標にも用いる重要な一貫として、統計データが公表されるようになった。しかし、これらの統計データはどのような現地調査で何時取られたデータかが正確に公表されているとは言えない。そのため、市や県レベルの行政区画単位での統計データとしてはあくまでも大まかな情報として取り扱われているに過ぎない。結果的に、単なる土地利用の統計データからは土地利用の変遷過程や要因関係を考察するには不十分である。

最近、衛星リモートセンシングデータが一般的に公開され、土地利用などに幅広く利用できるようになったため、地上における統計データと衛星で取得したデータとの検討が行われ、土地利用変遷の過程及び要因を示唆する材料として利用されることもある。本研究においても統計データと衛星データとの検討を次の章で議論する。本章では、本研究の対象地における概要記述を行う上で、対象地における土地利用の統計データを整理し、統計データに基づく土地利用変遷を探る。本研究の対象地における概要記述を行う上で、対象地における土地利用の統計データを整理し、統計データに基づく土地利用変遷を探る。内蒙古自治区における地形、植生などの既往データセットを収集するとともに、土地利用の統計データを整理し、統計データに基づく土地利用変遷を示した。

## 2.2 研究対象地の概要及び用いるデータ

### 2.2.1 研究対象地の概要

対象地は中国内蒙古自治区全域とし、境界付近の状況が理解できるように内蒙古の周囲も併せて検討する(図-2.1)。内蒙古自治区は中国北部に位置し、東経  $97^{\circ} 10'$  ～  $126^{\circ} 09'$  , 北緯  $37^{\circ} 24'$  ～  $53^{\circ} 20'$  , 土地面積は  $118.3$  万  $\text{km}^2$  であり、12 の行政区(盟・市)を有する。内蒙古は大部分が標高  $1,000\text{m}$  以上で、概略的には東部から西部へ降水量が減少するのに対応して、森林から砂漠へと異なった植生と土地利用が存在している(王静愛, 史培軍 1995)。内蒙古東部のフルンベル(呼倫貝爾)市東部は大興安嶺山地であり、年降水量が  $300 \sim 500\text{mm}$  で、森林に覆われている。内蒙古西部のアラシャ(阿拉善)盟は、大部分の地域で年降水量が  $100\text{mm}$  以下で、砂漠が広がっている。両者の間にある地域は、年降水量が  $100 \sim 400\text{mm}$  の地域が多く、草原、農地及び中国で「沙地」と呼ばれる植生が少なく、一部に流動砂丘が見られる土地である。内蒙古は中国全土の草原の  $73.3\%$ 、森林の  $15.8\%$  を有している(馬世威 et al. 1998; Zhou et al. 2002)。

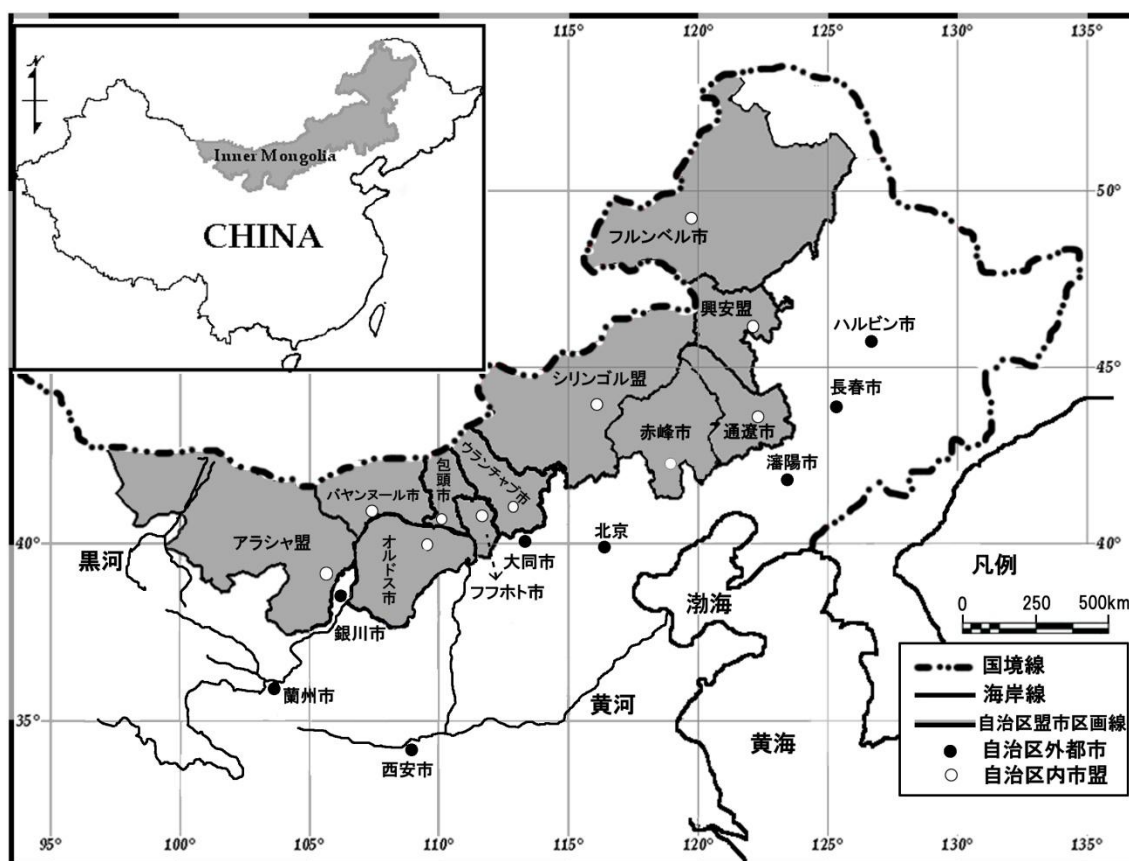


図-2.1 内蒙古自治区全体図

図-2.2 には、内蒙古自治区における 12 の行政区における土地面積の全域に占める割合を示す。内蒙古全域において、アラシャ盟・シリンゴル盟・フルンベル市の土地面積が全域

の6割以上を占める広域である。以上の3行政区の地理分布から気候条件が大きく異なるため、アラシャ盟は砂漠地帯の面積が大きく、シリングル盟には典型的な草原地帯であり、フルンベル市は、草原地帯及び森林を有する土地となる。

### 内蒙古自治区盟・市毎の行政面積割合

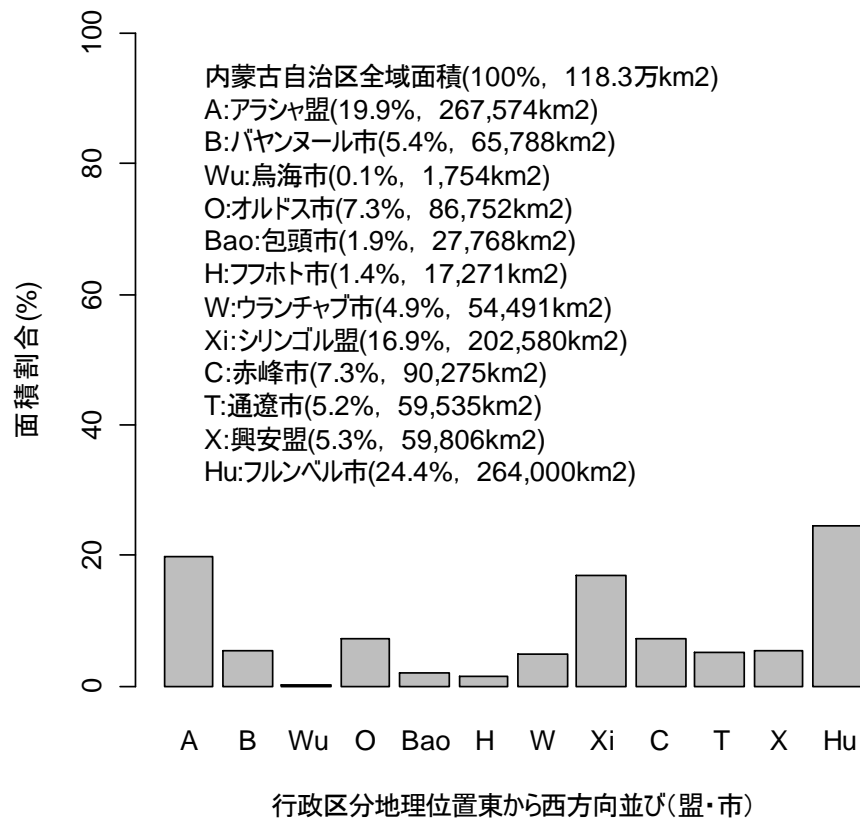


図-2.2 対象地域の行政区毎の面積割合

## 2.2.2 分析に用いた資料

### 統計年鑑などの統計データに関して

前述したように中国における耕地面積などの土地利用統計データにおいては、3種類（一つ目は、国家統計局の公表。二つ目は、国家土地管理局の公表。三つ目は、第1回農業センサス調査の結果。）のデータ公開があるものの、三者三通りとなり統計対象によって統計結果が大きく異なるということが指摘されている(沈金虎 2007)。また、農業センサス調査は1985年のみの調査結果であり、その後の年度における統計面積は公表があっても、国家統計局の統計データに基づいて推計されたものである(沈金虎 2007)。また、中国広域を対象としたリモートセンシング研究により推測した農業面積がこれらの統計データとの相関が低く、特に内蒙古自治区を含む東北地区においては相関係数が0.3ぐらいであり、リモ

ートセンシングデータから得られた農業面積に反映されていないという指摘もある (HasiBagan et al. 2007)。しかし、われわれは研究などの検証データとしては、これらのデータを利用する場合が多々あるが、地域においては十分に利用する価値もあると考える。

本研究における統計データの利用については、内蒙古自治区の行政区単位で耕地及び造林面積の統計数値が例年毎に集計できる「内蒙古自治区統計年鑑」の書籍が東京大学に所蔵されている。本研究では、「内蒙古自治区統計年鑑」1989~2007年までの統計ブックから各年度における各行政区の土地利用統計及び全域における家畜頭数のデータを整理して利用することにした。

## 2.3 結果及び考察

### 2.3.1 内蒙古自治区 12 の行政区毎における土地利用統計解析

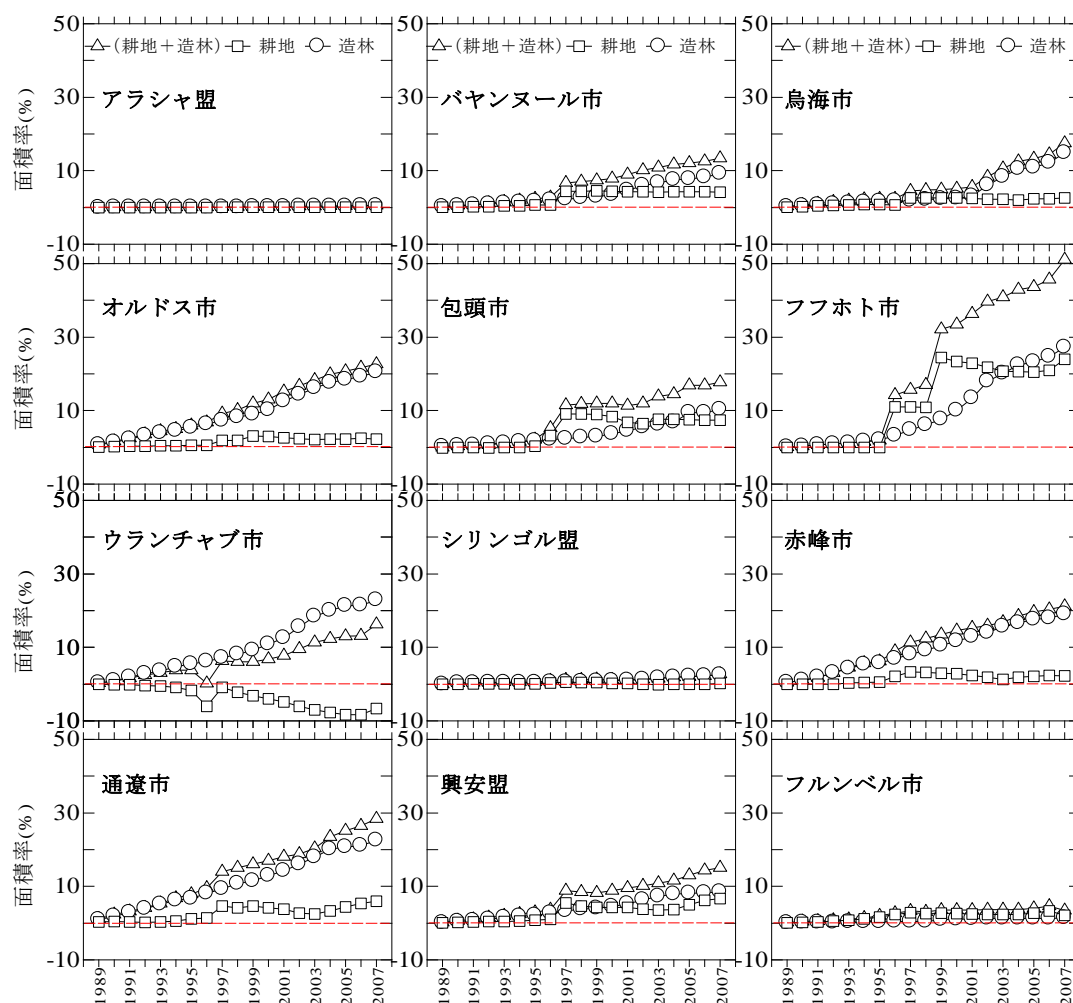


図-2.3 内蒙古自治区行政区毎の土地利用（耕地及び造林面積）統計面積割合

図-2.3 には内蒙古自治区 12 の行政区区分での土地利用（耕地面積、造林面積と両面積の合計）面積の変化を「内蒙古統計年鑑」に基づき作成した。行政区毎での統計データは 1989 年より公表されているため、ここでは 1989 年をスタート年とし、各年の統計面積と 1989 年との残差値から積算面積を求めそれぞれの行政区の土地面積で割った面積割合を示す。図に示す通り、12 の行政区毎における耕地と造林面積及びその合計面積の経年変化が地域によって異なる傾向が見られる。12 の行政区において、土地利用の統計面積の時系列変化パターンを大きく以下の 3 つの区分に分ける。

- ① 無変化パターン：アラシャ盟、シリンゴル盟、フルンベル市。
- ② 1990 年代後期から急増加パターン：バヤンヌール市、包頭市、フフホト市、興安盟。  
特にフフホト市においては、1995 年により造林面積割合が急増化傾向であるが、耕地面積の割合が 2000 年より低下している。
- ③ 継続増加パターン：オルドス市、ウランチャブ市、赤峰市、通遼市においては、顕著な上昇傾向が見られる。

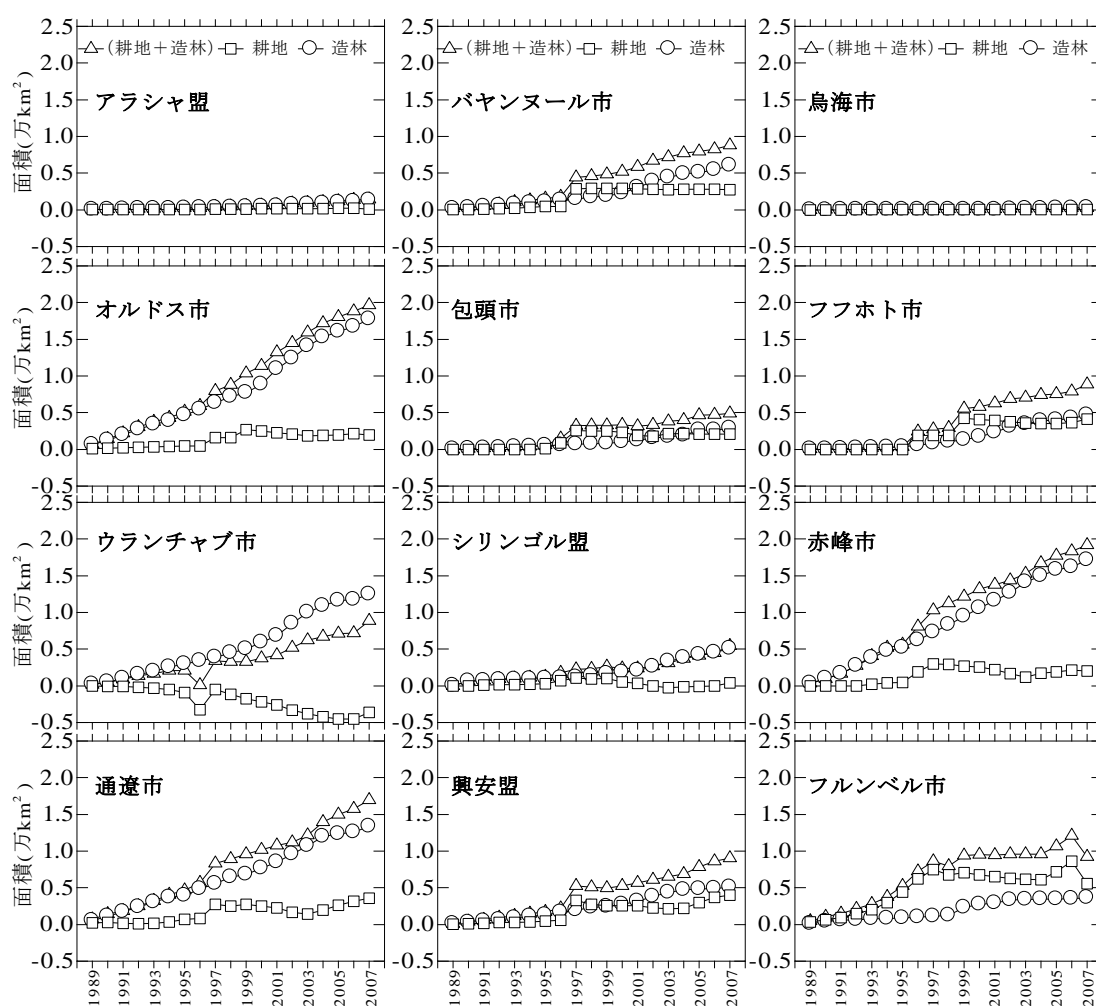


図-2.4 内蒙古自治区行政区毎の土地利用（耕地及び造林面積）統計面積

図-2.3 に示したのは行政区毎の土地利用面積割合であり、図-2.4 では土地利用面積を示す図になる。両図に示された土地利用面積の比較から、各行政区における土地利用面積の違いが見られた。図-2.3 に示した行政区毎の面積割合から土地利用の変動を3つのパターン区分を行ったが、面積で示すとそのパターン区分が少し異なる。内蒙古12の行政区の面積割合比較からシリングゴル盟及びフルンベル市における、土地利用の変動が見られなかったが、各行政区の土地利用面積を比較することにより、シリングゴル盟及びフルンベル市における土地利用の変化が見られた。シリングゴル盟においては、1989年～2000年にかけてほとんど造林と耕地面積の拡大が見られないが、2001年により造林面積が増え始めた。フルンベル市においては、1989年頃から耕地面積の拡大が1997年までに続き、その後1997～2004年の間に耕地面積が減少したと見られる。また、フルンベル市における造林面積も1999年頃からわずかながら少しずつ増え続けていることが分かる。フフホト市・フルンベル市・包頭市においては耕地面積の増加割合が造林面積より大きい、どちらも1997年より耕地面積が減少傾向になる。

1989～2007年における内蒙古自治区12の行政区の土地利用統計データの解析結果から、内蒙古の西部からオルドス市、ウランチャブ市、赤峰市、通遼市における造林面積の増加が著しく、これらの地域における生態修復の取り組みが大きいと示唆される。これらの地域の土地面積は、シリングゴル盟やフルンベル市の行政土地面積の1/3程度であるが、造林の拡大面積がシリングゴル盟やフルンベル市に比較して4倍から5倍以上になっていることが分かる。内蒙古全域において、耕地面積の減少が見られる。耕地面積の減少する時期は、1999年頃から減少傾向が見られ、この時期が内蒙古自治区における生態修復の一環として行われてきた「退耕還林・還草」政策の始まった時期と一致することが分かる。この対策の名の通り、「退耕還林・還草」とは、耕地を退き森林或いは草原だったもともとの土地利用に戻すという政策である。しかし、「退耕還林・還草」政策は、農地及び草地利用者の収益に関わる政策であり、この政策による補助額にめぐって、この政策が土地利用者の反対を受け、実質上「還林・還草」にはなっていないと指摘される。生態修復を重視されたこの政策が評価されたものの、土地利用者の収益に大きく影響を与えてしまい、政策の成否も脅かすものであると指摘する(向虎 2006)。この影響であろう、本来ならば内蒙古自治区の耕地面積が減少するはずであるが、2003年頃からまた耕地面積の拡大傾向が見られ始めた。図-2.4 に示す行政区毎の耕地面積の変動から、赤峰市、通遼市、興安盟などの地域において、耕地面積が再び増加傾向になりつつある。

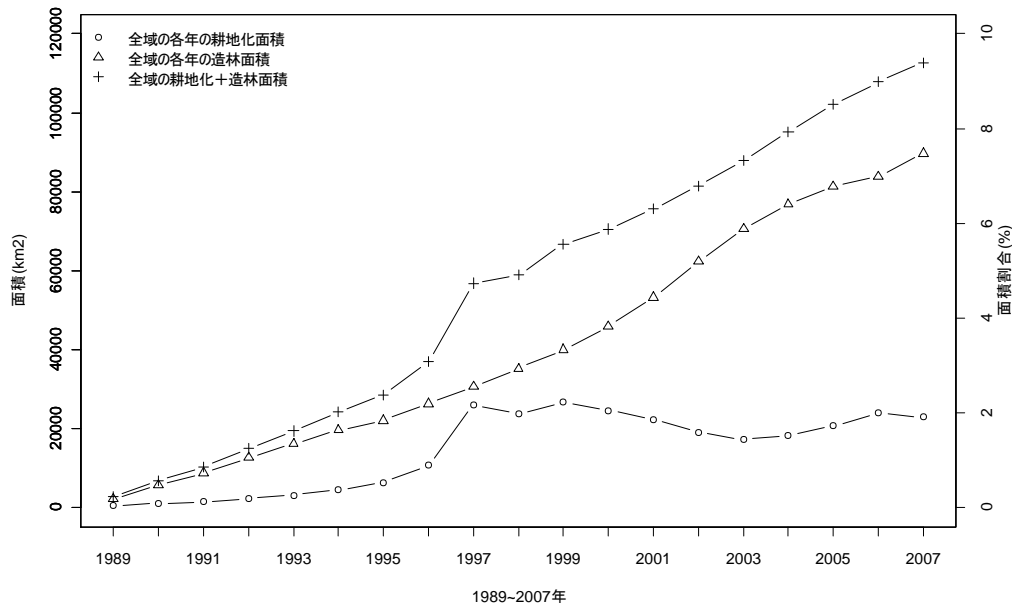


図-2.5 統計データに基づく内蒙古自治区の土地利用変化

図-2.5 は、内蒙古自治区の 12 の行政区毎の土地利用（各年の耕地化面積と各年の造林面積）統計データ（1989~2007 年）に基づいて作成した。全域においては、1989 年より造林面積の上昇傾向が顕著であり、1989~2007 年までに約全域の 8% 相当の造林面積を拡大したとみる。一方で、耕地面積は 1989~1997 年までに増加傾向があり、その後低下傾向になる。図-2.5 にも耕地面積の変動から、2003 年頃から内蒙古全域における耕地面積の増加傾向が見られた。しかし、内蒙古自治区の土地利用面積をもっと長い時間スケールで見ると耕地面積が増加したのは、1990 年の後期であることが分かる。

内蒙古自治区全域の土地利用を理解するために、1949 年からの数値データに基づき、図-2.6 内蒙古自治区全域における耕地面積及び造林面積を示すグラフを作成した。内蒙古全域においては、1947 年頃から現在までの数値公表はあるものの、行政区単位ではその数値データが 1989 年からのものが公表されている。



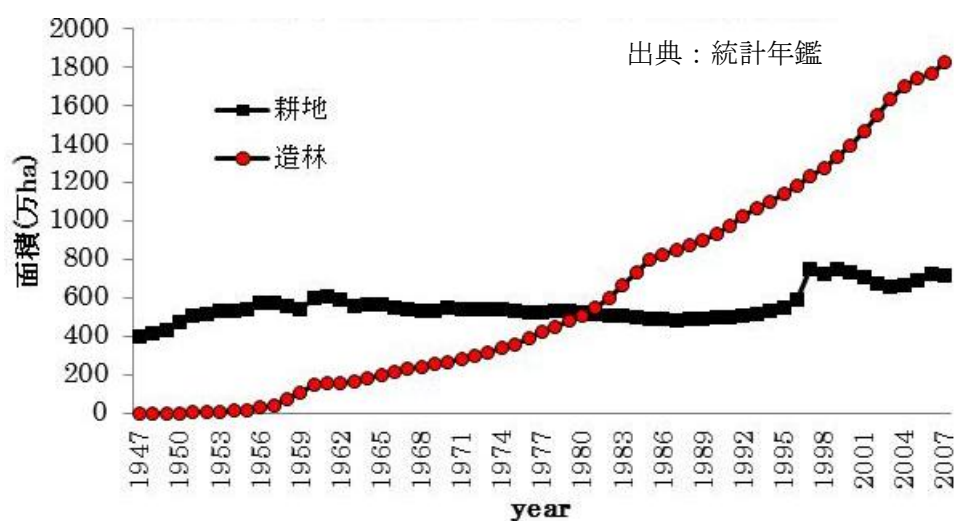


図-2.6 内蒙古自治区全域における耕地・造林面積の統計

図-2.6 に示す内蒙古全域における耕地面積及び造林面積の統計図から、両データの特性が分かる。造林面積は、1957 年頃から植林し始め、その累積面積が一直線に増加傾向であることが分かる。しかし、このデータは毎年の造林面積から累積された数値であり、毎年における造林面積の成功率がどのくらいであり、植林後どのくらい成功したかは明確ではない。1949~2007 年までの累積造林面積が 1828 万 ha (18.28 万 km<sup>2</sup>) に達し、総面積の 15.45% に相当する。一方で、内蒙古全域における耕地面積の増加は 1947 年頃から 1957 年までに増加し続け、その後 1990 年代までに減少傾向である。このような変動は、中国全土における耕地面積の変動傾向と同様である。しかし、図-2.3 に示したように行政区毎で見た場合、各行政区における造林及び耕地面積の変動傾向が異なることが見られる。このような変動をもたらした背景は、耕地における単収量の増加により、面積の拡大が止まったとされるが、中国におけるこのような統計報告は無理に単収を上げるために統計上の面積が過小申告されるケースが多く、事実上耕地面積の減少は公表されている統計よりはるかに少ないと指摘されている(沈金虎 2007)。また、人口増加などにより、食料需要の増加に伴い、単収だけを上げて食料の需要量を満たすことができない状況にあると考えられる。従って、1990 年代後期より耕地面積の拡大が見られる(図-2.6 に示す)。しかし、耕地面積の増大は主に生態環境の脆弱な中国西北地域(例えば、新疆自治区)、西南地域(例えば、雲南省など)、東北地域(例えば、内蒙古自治区及び黒竜江省など)に多く分布し、生態環境を悪化させ、土地利用制度について政策の乗り遅れなどが指摘されている(李秀彬 1999)。こうした背景に、余儀なく「退耕還林・還草」政策に打ち出したとされる。

### 2.3.2 内蒙古全域における牧畜の頭数の変化について

草原及び牧畜を営む地域においては、土地劣化の主要要因が過放牧である(吉良龍夫

1952)。特に、乾燥・半乾燥地域においては植生の回復には、10年以上もかかる(大黒俊哉、根本正之、1997)。ここでは、内蒙古自治区における牧畜頭数の変動を示すために統計データを用いて図-2.7を作成した。牧畜頭数の統計数値からも内蒙古自治区における土地利用変遷を人間要因から示唆できると考えられる。

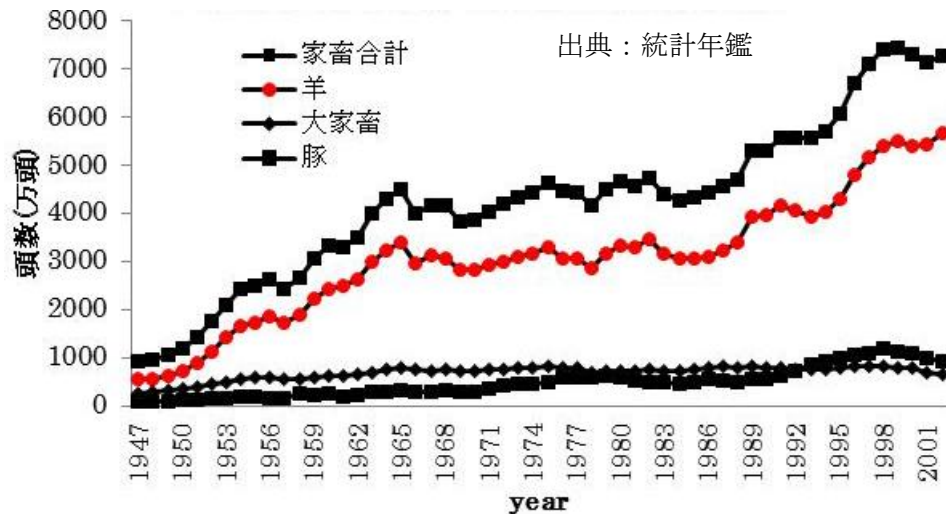


図-2.7 内蒙古自治区全域における畜産頭数の統計

内蒙古自治区における家畜の頭数変化を図-2.7に示したように、2時期の増加変動が見られる。第一時期は、1949~1965年の増加であり、第2時期は、1990年代初期から後期までの増加である。家畜の頭数増加は主に羊の頭数が大割を占め、大家畜（馬、駱駝、牛など）や豚の頭数は羊の頭数に比較して変動が少ないことがわかる。豚の頭数が1990年代の後期に微増した傾向が見られる。羊の頭数が増えた要因は、土地利用の制度や羊の市場需要によるものである。家畜頭数の増加により牧草地における過剰負荷要因から草地の劣化による砂漠化の進行が進んでいると1980年代より指摘されてきた。乾燥地では放牧地のうちの84%に当たる3,100万 $\text{km}^2$ が砂漠化の影響を受け、1年間に3.2万 $\text{km}^2$ が砂漠化している(内山泰考 1988)。中国北東部の草原地域では、戦後には家畜頭数が急激に増加したため、羊一頭当たりの草地占有面積が1980年代初めまでの30年間足らずの間にわずか五分の一以下まで低下してしまった(ZhuZhenda et al. 1988)。カシミヤなどの市場需要が増えるに従って、家畜頭数が増加し、特にヤギとヒツジの頭数を増やした結果、草原地帯における牧養力（植生を荒廃させずに維持できる家畜頭数）を超えるような強い放牧圧が内蒙古自治区の砂漠化を招いた。今では、砂漠化の要因は過放牧であると認識され、放牧に対する厳しい対策も取られるようになった。しかし、牧畜業を営む地域が多く、従来の牧畜業から脱出できるのは長期の課題である。一方で、砂漠化をもたらした根本的な要因は牧畜の頭数増加にあるのではなく、政策の間違いであるという指摘もされる。内蒙古自治区においては、1980年代より土地利用制度が変わり、私有柵制度及び定住化により、牧草地の私有

化が一気に進行された。1985年に制定された草原法によって、内蒙古における遊牧という伝統ある文化が途絶えたと指摘する(奥田進一 2008)。こうした土地利用法による生態環境への影響も大きく、伝統的な遊牧式放牧ができなくなり、その分限られた牧地に放牧圧がかかり、砂漠化が促進されている指摘される(小長谷有紀, シンジルト, 中尾正義 2005)。

### 2.4 まとめ

造林及び耕地面積の統計データから内蒙古自治区における生態修復の勢いを読み取ることができた。特に、造林面積の増大が内蒙古の植生増加を加速させたと示唆できる。一方で、耕地面積の増加は主に1990年代の後期により増加傾向が大きく、これによる生態環境への影響が大きいとみる。また、内蒙古全域における牧畜頭数の統計データを解析した結果、長期に亘って増加傾向であるが、特に1980年代初期から増加傾向が大きくなったと示された。

内蒙古全域における造林・耕地面積の時系列変遷及び家畜頭数の時系列変遷から、土地利用の要因を探る重要なデータ整理ができた。内蒙古自治区全域において、継続的な造林面積の拡大及び耕地面積の変動から、内蒙古における植生被覆率の変化は造林による効果が大きいと示唆できる。一方で、家畜頭数の変化から1980年代以降の増加が草地に与える砂漠化への影響が大きいと考えられる。しかし、内蒙古全域において、生態政策に関する実地報告などから近年における緑化事業及び耕地利用の公表数値は多くあるものの、どこでどれほど変わったかの情報に乏しく、土地利用の実態を把握するには統計データや報告などでは実態が把握しきれないと言える。

## 引用文献

- 沈金虎. 2007: 現代中国農業経済論—近代化への歩みと挑戦—. 東京: 信毎書籍印刷株式会社.
- 王静愛, 史培軍. 1995: 内蒙古における自然地帯の研究. *内蒙古師範大学学報(自然科学版)* 1:71-76.
- 馬世威, 馬玉明, 姚洪林, 王林和, 姚雲峰. 1998: 沙漠学. フフホト市: 内蒙古人民出版社
- Zhou, H., J. Shen, Y. Jiang, and T. Li. 2002: Desertification Distribution, Dynamic and influence on the Ecological Environment in Western China. *Journal of Desert Research* 2, (in Chinese with English abstract).
- HasiBagan, Pranab J Baruah, Wang, Q.X., and Yasuoka Yoshifumi. 2007: Cropland Area Extraction in China with Multi-Temporal MODIS Data. In *AGU Fall Meeting*. San Francisco, USA.
- 向虎. 2006: 中国の退耕還林をめぐる国内論争の分析. *林業経済研究* 52 (2):9-16.
- 李秀彬. 1999: 最近 20 年間における中国の耕地面積の変化及びその政策について. *自然資源学報. (in Chinese)*.
- 吉良龍夫. 1952: 生態學的にみたいわゆる過放牧々野. *植物生態学会報* 1 (4):209-213.
- 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・土壌の回復過程(平成 9 年度 日本造園学会研究発表論文集(15)). *ランドスケープ研究, 日本造園学会誌* 60 (5):495-500.
- 内山泰考. 1988: 砂漠化と農業. *熱帯農研集報* 61:71-85.
- Zhu, Z. D., Zou, B.G., Di, X.M., Wang, K. F., Chen, G.T., and Zhang, J.X. 1988: Desertification and rehabilitation-Case study in Horqin sandy land-. *Institute of Desert Research, Academia Sinica*.
- 奥田進一. 2008: 中国内モンゴルにおける草原利用権の法的課題. *拓殖大学論集. 政治・経済・法律研究* 10 (1):40-54.
- 小長谷有紀, シンジルト, 中尾正義. 2005: 中国の環境政策生態移民—緑の大地, 内モンゴルの砂漠化を防げるか?: 昭和堂.

## 第3章

### 1982-1999年の植生変化についての NOAA/AVHRR データを用いた検討

#### 3.1 はじめに

本章では、既往研究に基づき、内蒙古自治区の東北部森林地帯から西部の砂漠地帯までの異なる植生地で既往資料が豊富な4地域（4,000～8,000km<sup>2</sup>のスケール）を選んで NDVI の変化を調べ、植生増減を判断する NDVI 変化の閾値を検討した上で、内蒙古自治区全域（約120万 km<sup>2</sup>のスケール）を対象に植生変化が抽出された地域を示す。

なお、NDVIが増加した要因について、地球温暖化などの可能性と植林などの緑化事業や農地開発による耕地増加の可能性を持つので、どちらの要因の影響であるかを論ずる必要がある。そこで、行政区（2万～20万 km<sup>2</sup>のスケール）での NDVI 増加面積と造林面積及び耕地化面積の統計データを対比し、「両者の相関が高ければ人為的な植生増加の影響が大きく、相関が低ければ気候変化など他の影響が大きい」との仮説を設け、検討をする。

内蒙古自治区全域における砂漠化と緑化事業がもたらした植生変化の実態を把握するために、NOAA/AVHRR の衛星リモートセンシングデータから求められた NDVI（正規化植生指数）を用いた検討を行う。まず、文献から植生変化の実態が明らかな地域において、NDVI の変化と植生変化について比較し、1982～1999年までの約18年間における植生の変動を調べる。植生変化が少ない地域での NDVI の変動から、植生増減を判断する NDVI 変化の閾値を検討し、1982～1986年と1995～1999年の夏季 NDVI の差を  $\Delta\text{NDVI}$  とし、植生の増減を8km分解能のピクセル毎に求める。そして、 $\Delta\text{NDVI}$ により植生が増減した地域を抽出して図化する。

そこで本章では、1980年代から1999年にかけての内蒙古自治区全域における植生変化の実態を推定することを目的として、NOAA/AVHRR データによる NDVI の経年変化と、資料に基づく現地での植生変化の実態との比較を行い、NDVI に基づく植生が変化した地点とその変化の程度について論ずることとする。

### 3.2 研究対象地

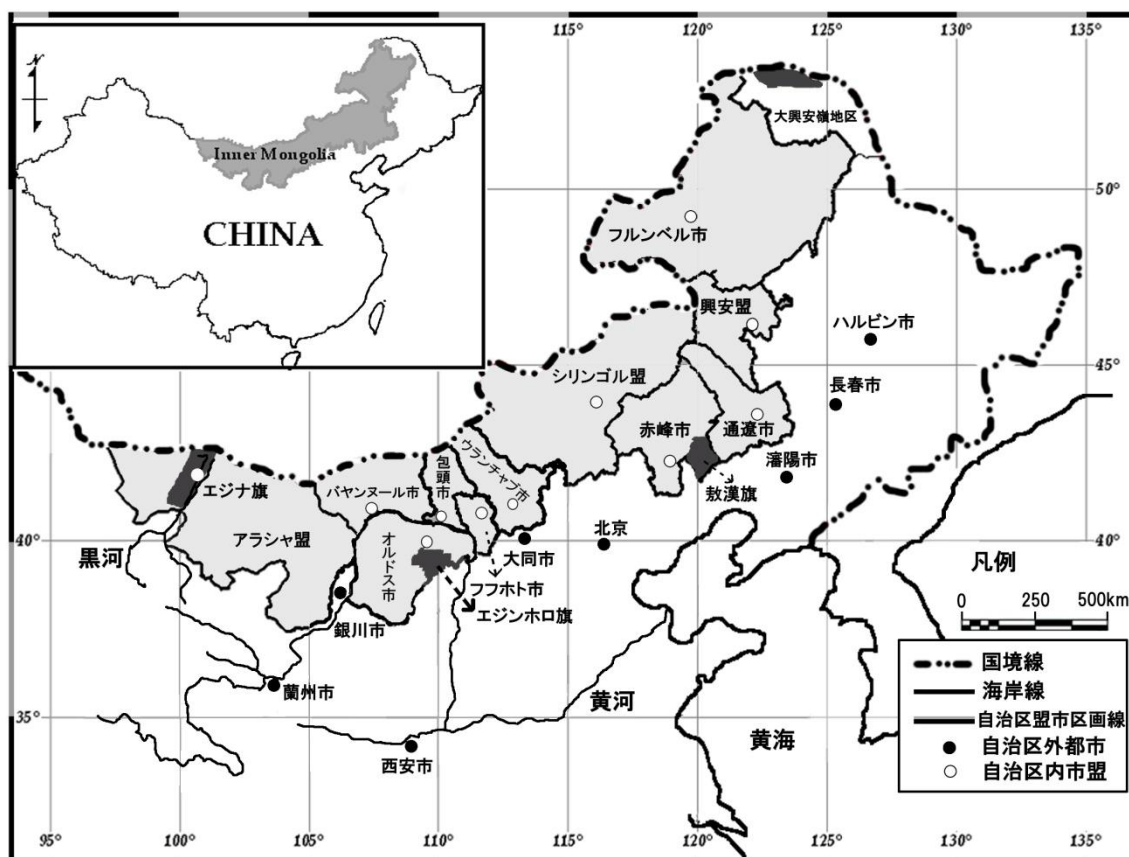


図-3.1 研究対象地の位置図

NDVI の変化と文献資料による植生の変化傾向について比較を行った 4 地域（黒龍江省大興安嶺地区、敖漢旗、エジンホロ旗、エジナ旗）を黒塗りで示している。

対象地は中国内蒙古自治区全域とし、境界付近の状況が理解できるように内蒙古の周囲も併せて検討する（図-3.1）。内蒙古自治区の土地面積は 118.3 万  $\text{km}^2$  である。内蒙古は大部分が標高 1,000m 以上で、概略的には東部から西部へ降水量が減少するのに対応して、森林から砂漠へと異なった植生と土地利用が存在している(王静愛・史培軍, 1995)。内蒙古東北部のフルンベル(呼倫貝爾)市東部は大興安嶺山地であり、年降水量が 300~500mm で、森林に覆われている。内蒙古西部のアラシャ(阿拉善)盟は、大部分の地域で年降水量が 100mm 以下で、砂漠が広がっている。両者の間にある地域は、年降水量が 100~400mm の地域が多く、草原、農地及び中国で「沙地」と呼ばれる植生が少なく、一部に流動砂丘が見られる土地である。内蒙古は中国全土の草原の 73.3%、森林の 15.8%を有している(馬世威 et al. 1998;Zhou et al. 2002)。ここでは植生分布を示すために、GLC2000 のデータセット (Bartholome,Belward 2005) (Global vegetation Monitoring (GVM) の web サイト (GlobalVegetationMonitoring (GVM) の web サイト)による)を用いて図-3.2 に示す。



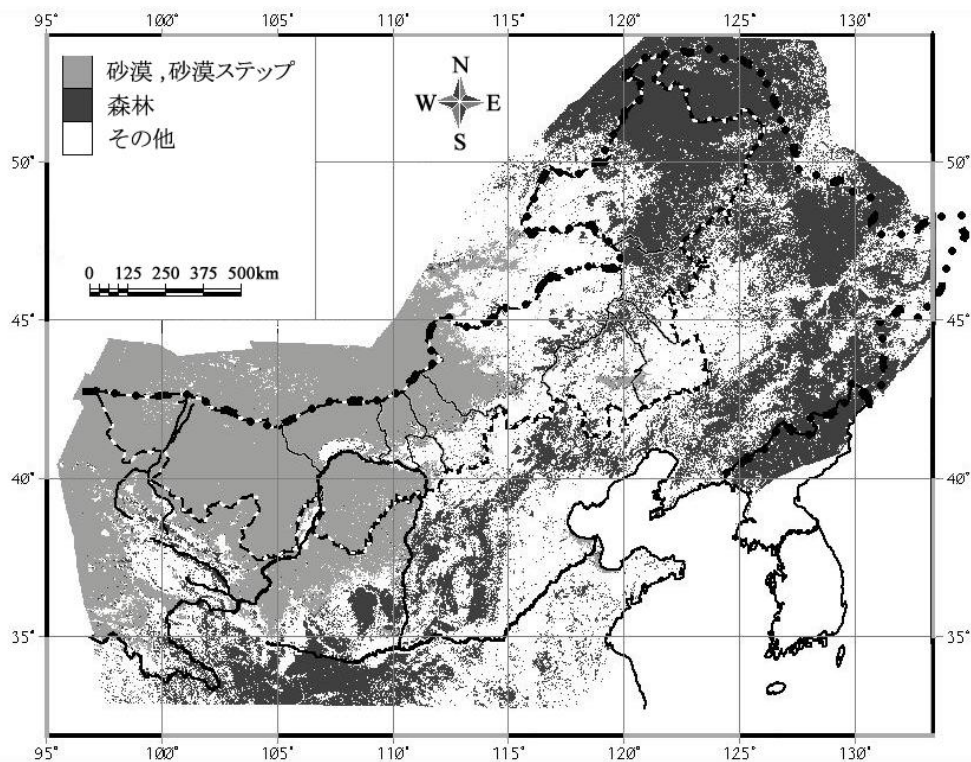


図-3.2 内蒙古自治区とその周辺の土地被覆図

(GLC2000 (GlobalVegetationMonitoring (GVM) の web サイト))より作成)

### 3.3 使用データと解析方法

#### 3.3.1 NDVI のデータセット

本章に用いるデータセットは、全球をカバーする NOAA/AVHRR による NOAA/NASA Pathfinder AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer) Land Data Set (以下, PAL データセット) を用いる。PAL データセット(Holben 1986;Kallurib 1994)は, the Goddard Space Flight center(GSFC)'s Distributed Active Archive Center(DAAC)( <http://daac.gsfc.nasa.gov/>)の FTP サイトの無料ダウンロードサービスを利用し, 入手可能である(NASA/GSFC の web サイト 及び ftp サイト)。PAL データセットは, NOAA/AVHRR により取得されたデータを High Resolution Picture Transmission(HRPT/LAC)データとして約 4km にサンプリングして GAC データに作成する。更に GAC データを解像度 8km の等積図法である the Goodes Interrupted Homolosine Projection に地図投影を行って, PAL データが作成される。PAL データの作成過程 HRPT/LAC→GAC→PAL データの変換は, HRPT/LAC データの 4×1 ピクセルの平均値から GAC データの中心ピクセルに置き換え, 更に GAC データから 8km 解像度に相当するピクセル範囲から最大値を採用して作成される(建石隆太郎, 黄少博, 石山隆 2001)。また, PAL データセットは, PAL データ作成に当たってデータに残存する雲の影響を最小限にするために, ピクセル毎に毎日のデータから最大の NDVI を選び出した

ものであり、10日間毎及び月データとして公開されている。本章で用いるデータは1982～1999年の月データ（元のデータセットには1981年1月から6月と1994年9月から12月にデータ欠落があるため本章においてはその年間のデータを除いた）で、データの地上分解能は約8kmである。本データセットのNDVI（scaled NDVI）は0～255の整数値で格納されている。本研究では変換式（ $NDVI = (scaled\ NDVI - 128) \times 0.008$ ）により、NDVIに換算した値を用いる。

$$NDVI = (IR - R) / (IR + R) \quad \dots (3.1)$$

式3.1で、IR：近赤外波長帯での反射強度 R：赤色波長帯での反射強度  
植物は、クロロフィルによる赤色波長帯の吸収作用と、クチクラ層による近赤外波長帯の高反射域の特徴を持っており、これをNDVIは利用する。NDVI値は-1から+1の範囲の値をとり、値が大きいほど植生活性度が高いことを示すとされている。

### 3.3.2 植生増加，減少地域の抽出法

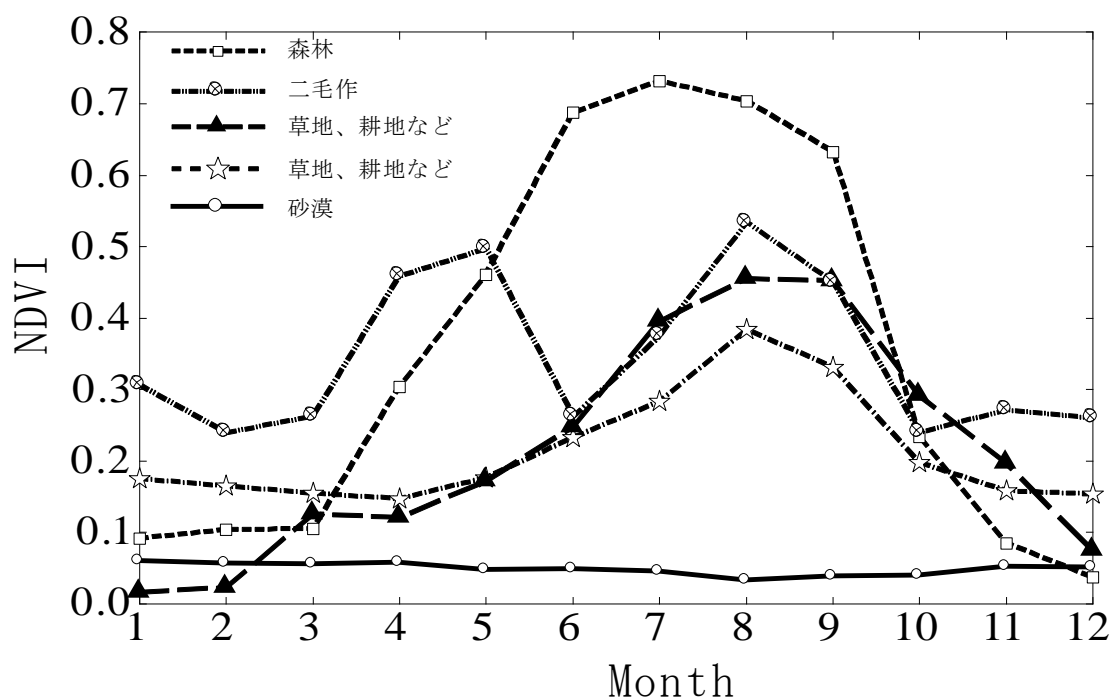


図-3.3 土地被覆の相違によるNDVIの季節性

一般に北半球温帯の植生地は（図-3.3に示す通り）、植物の活性度と被度を反映して夏に大きく、冬に小さい値となる。本研究では、7～9月の3ヶ月間の最大値を各年の $NDVI_{max}$ 値とし、1982～1986年を前期、1995～1999年を後期として5年平均を求め、それぞれの期間の $NDVI_{max}$ 値とした。また、前期から後期への $NDVI_{max}$ 値の変化量を $\Delta NDVI$ と



して植生被覆の増減を調べる(Ryutaro 2001)。

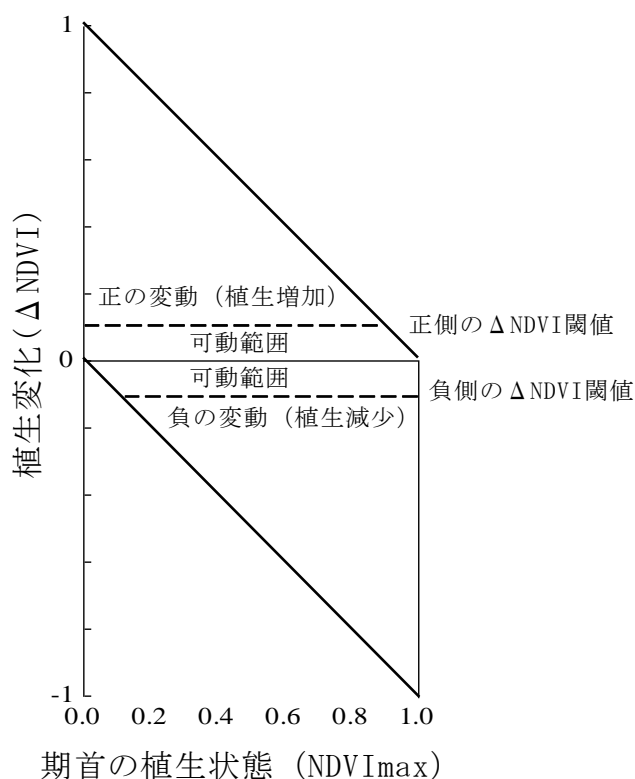


図-3.4 NDVIに基づく植生変動の抽出概念図

なお、NDVI の値は、植生の変化以外に、火山活動や森林火災によるエアロゾルの増加などさまざまな要因の影響を受けて変動するため(Husni et al. 2005),  $\Delta\text{NDVI}$  だけで単純に植生の増減を結論づけることはできない。そこで、植生変化の実態について現地資料などに記録が残されている4つの地域において、1982~1999年のNDVIの長期変化と植生変化の実態との対応について検討を行い、 $\Delta\text{NDVI}$ に基づいて植生の増減を判別するための閾値(Ma 2003)について検討する。 $\Delta\text{NDVI}$ を抽出する概念においては、図-3.4に示すような概念が用いられ、植生状態を示すX軸で表す $\text{NDVI}_{\max}$ と植生変化を示す $\Delta\text{NDVI}$ の関係が考えられる。もともとの $\text{NDVI}_{\max}$ が小さい或いは大きい場合は、その変動( $\Delta\text{NDVI}$ )の範囲も小さいと考えられる。その理由を理論値と実際問題から考えて図に示す変動範囲であると考えた。まず、理論値からみるとX軸に示す期首の植生状態を示す $\text{NDVI}_{\max}$ は大凡0~1の範囲であると考えられる。一方で、Y軸に示す $\Delta\text{NDVI}$ の変動幅はピクセル毎に当たる植生の被覆率の変動によって正負の変動をする。例えば、X軸で値が0に近い値は植生がない状態を示し、そのような地点においては負の変動がないと考えて良い。一方で、植生がない地点において、農地或いは植林・植草によって100%の植被率上昇があったとしたら $\Delta\text{NDVI}$ に最大の正変動が出ると考えられる。しかし、事実上8\*8kmのグリッド範囲で砂漠或いは裸地から100%の植被率が上昇する地点が少ない。事実上、植被率が上昇してあるのは期首の植被率

がある程度存在するような地域において、耕作や植草・植林できる気象条件にも対応していると考えられる。そのため、NDVI の値が 0 より大きくなるに従って  $\Delta\text{NDVI}$  の変動幅が大きくなると見る。同じく  $\Delta\text{NDVI}$  の負変動は NDVI が 0 より負になることはなく、NDVI が大きくなるに従って負の変動が大きくなると考えられる。しかし、期首に NDVI が 1 に近い値だった地点においては、森林や農地などの植被率が 100%に近い土地利用であると考えられ、そのような土地においては森林や農地などから植被率が 0%の裸地になった場合は、理論上では  $\Delta\text{NDVI}$  の負の変動が最大になる。しかし、事実上 2, 30 年の時間スケールでは 100%の植被率が 0%の裸地に変わる可能性が低いと考えられる。そのため、期首において NDVI が 0~1 の範囲で NDVI の変動幅が斜線の範囲で存在する可能性が高いと考えられる。また、NDVI の値は、気象要素の変動の影響を受ける以外にデータセットの品質にも影響を受けるため、 $\Delta\text{NDVI}$  の変動幅は図中に示したように正負可動範囲が想定される。

上記の概念図に基づき、植生が変化した地域を検討するうえで内蒙古自治区全域における各行政区域での造林面積、耕地化面積の統計データと NDVI が増加した地域の面積を対比し、植生変化が抽出された地域とその面積について、緑化と農耕地の拡大という人為的な要因による植生増加であるか否かについて検討する。

### 3.3.3 植生変化面積検討に用いる集計法

NDVI が増減した地点がもともとどのような植生であったかを集計するため、ピクセル毎の NDVI と  $\Delta\text{NDVI}$  の値の分布関係を検討する必要がある。

まず、前期の植生分布を示すために前期  $\text{NDVI}_{\max}$  の面積率  $\alpha_i$  を(3.2)式を用いて求める。

$$\alpha_i = A_i / A_{\text{all}} \quad \dots (3.2)$$

ここに、 $A_{\text{all}}$  は対象地域（内蒙古自治区）全域の面積。 $A_i$  は NDVI が  $A_{\text{all}}$  全域中 NDVI 範囲 0~1 の中で 0.05 刻み区分毎に分け、 $i$  区分に該当する面積を示す。 $\alpha_i$  は、1980 年代前半（1982～1986 年）の  $\text{NDVI}_{\max}$  の面積率である。

次に、植生変化を示すために  $\Delta\text{NDVI}$  の面積率  $\beta_j$  を(3.3)式で求める。

$$\beta_j = B_j / A_{\text{all}} \quad \dots (3.3)$$

ここに、 $B_j$  は  $A_{\text{all}}$  全域中  $\Delta\text{NDVI}$  範囲-0.10~0.20 の中で 0.025 刻み区分毎に分け、 $j$  区分に該当する面積を示す。 $\beta_j$  は、 $A_{\text{all}}$  全域における  $B_j$  の面積率である。

1980 年代前半の NDVI 別に求める  $\Delta\text{NDVI}$  の面積率は、(3.4)式による。

$$\beta'_{ij} = B'_{ij} / A_i \quad \dots (3.4)$$

ここに、 $B'_{ij}$  は NDVI が該当する範囲  $i$  に含まれる地域内において  $\Delta\text{NDVI}$  が該当する範囲  $j$  に含まれる面積。 $\beta'_{ij}$  では、元の植生（砂漠、草原、森林など）に対応する 1980 年代前半の NDVI 毎に  $\Delta\text{NDVI}$  の面積率の差異が比較される。

ここに示す  $j$  においては 1~4 区分に設け、それぞれ 1: ( $0.6 \leq \text{NDVI}_{\max} < 0.8$ ), 2: ( $0.4 \leq \text{NDVI}_{\max} < 0.6$ ), 3: ( $0.2 \leq \text{NDVI}_{\max} < 0.4$ ), 4: ( $0.0 \leq \text{NDVI}_{\max} < 0.2$ ) という区分なる。

また、 $\Delta\text{NDVI}$ に閾値を設けて定義した植生の増加地域、減少地域の面積を、1980年代前半のNDVI毎に集計する。このとき、NDVIの増加地域（または減少地域）の全面積に対する比率 $\gamma_i$ とNDVIが該当する範囲に含まれる面積に対する比率 $\delta_i$ の2指標を求めた。

$$\gamma_i = C_i / C_{\text{all}} \quad \dots (3.5)$$

ここに、 $C_i$ はNDVIが該当する範囲*i*の地域でNDVIが閾値を越えて増加（または減少）した面積、 $C_{\text{all}}$ は対象地域（内蒙古自治区）全域でNDVIが閾値を越えて増加（または減少）した面積。

$$\delta_i = C_i / A_i \quad \dots (3.6)$$

$\gamma_i$ と $\delta_i$ はともに、1980年代前半のNDVI毎のNDVI変化が生じた地域の面積率であるが、 $\delta_i$ では1980年代前半のNDVIの面積割合を考慮した指標であり、NDVI増減地域の検討で両者ともに用いることとした。

### 3.4 結果及び考察

#### 3.4.1 内蒙古におけるNDVIの分布

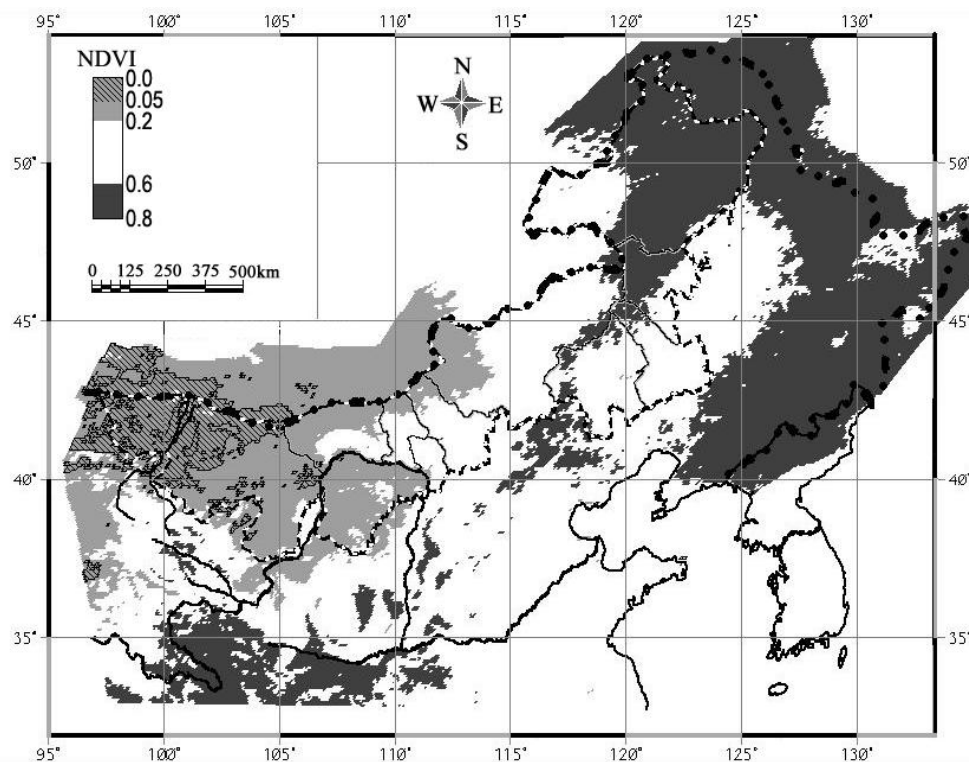


図-3.5 内蒙古自治区とその周辺の前期 $\text{NDVI}_{\text{max}}$ の分布

$\Delta\text{NDVI}$ により植生変化を論ずる前提として、本研究で植生変化を求める対象期間において前期となる1982～1986年の $\text{NDVI}_{\text{max}}$ の5年間平均値を図-3.5に示す。図-3.5の $\text{NDVI}_{\text{max}}$ の分布は、全体として東部から西部へと値が減少する分布となっている。また、一見して図-3.2の植生分布との対応が指摘できる。図-3.5で $\text{NDVI}_{\text{max}}$ が「0.20以下である地域」、「0.60

以上である地域」の分布は(竹内渉 2003), 図-3.2 で「砂漠及び砂漠ステップ」, 「森林」と表示された地域とそれぞれ類似した分布である。

植生指標は LAI やバイオマスと対応付けられることは数多くの研究によって検証されている。したがって, ある年の最大 NDVI はその年の植生の最大 LAI あるいは最大バイオマスに対応すると考えられる。そこで年ごとに NDVI の最大値を抽出し, 解析期間の 19 年間のトレンドを検討した。なお, 本研究の対象地においては土地利用の相違が顕著であり, 土地利用のカテゴリを大きく非植生域(砂漠)から草原ステップ・森林地域と分けられる。これらの地域においては, 植生の季節変動は大凡夏期にバイオマスの最大値となり, NDVI トрендでもその対応が明瞭である。NDVI 変化から土地利用の変動を示すには, 年間の  $NDVI_{max}$  を抽出し,  $NDVI_{max}$  の比較から検討する必要があると考えられる。

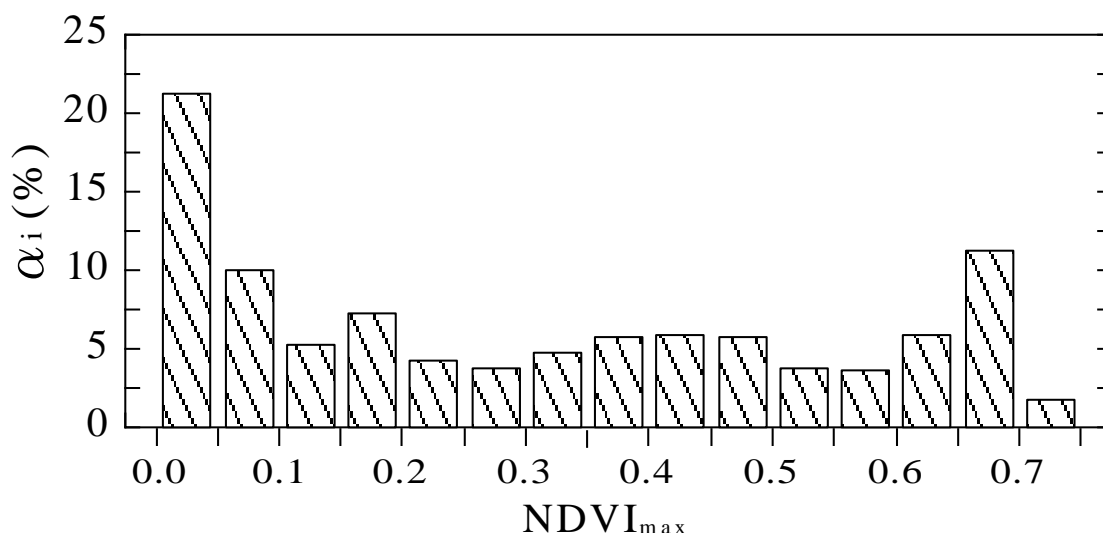


図-3.6 内蒙古自治区における前期  $NDVI_{max}$  の面積率

前期  $NDVI_{max}$  は 1982～1986 年の NDVI 最大値の平均値である。

$\alpha_i$  :  $NDVI_{max}$  の面積率 ((3.2)式参照)。

内蒙古内での  $NDVI_{max}$  の値を 0.05 きざみで集計した面積率 (3.3 における  $\alpha_i$ ) を図-3.6 に示す。図-3.6 から, 内蒙古においては,  $NDVI_{max}$  が 0.05 以下の植生が極めて乏しい地域は内蒙古の約 20% ともっとも高い面積率を占めるが, 図-3.5 によりそれは西部のアラシャ盟に集中していることが分かる。2 番目に高い面積率のクラスは,  $NDVI_{max}$  が 0.65～0.70 の森林地域であり, 大部分は大興安嶺地域周辺に位置する。 $NDVI_{max}$  が 0.15～0.60 程度の階級は, 比較的均一な割合で存在していることが分かる。これらの階級は, 草地や耕地を中心とした植生からなり, 植生の分布としては, これらを合計した草地や耕地がもっとも広く分布していることになる。そのような植生分類の地域においては, NDVI の値が幅広いことから, 植生量などには地域により比較的疎らな植生から密な植生まで各種が含まれると考えられる。

### 3.4.2 植生変化の実態と NDVI の変化の比較

現地情報及び既往研究成果に基づいて植生変化の実態が把握可能な大興安嶺地区、敖漢旗、エジンホロ（伊金霍洛）旗、エジナ（額濟納）旗の4地域を選定し、NDVIの長期変化との対応を比較した。各地の位置（本節でNDVIを検討した範囲）は図-3.1に示した。研究対象期間である1982年～1999年における各地のNDVI経年変化、季節変化、同期間のNDVI月毎の経年変化及び $\Delta$ NDVIを検討する。また、選定地域から得られたNDVI変動を参照して、内蒙古自治区の全域における $\Delta$ NDVIを検討する。

#### 3.4.2.1 選定した4地域の概略

大興安嶺地区（黒龍江省）：内蒙古自治区の外側で、北東方向に位置する黒龍江省最北部にある、中国最大の国有森林区域である。大興安嶺山脈は内蒙古自治区から黒龍江省の境界を越えて存在し、内蒙古内の森林状況の検討に用いられるものとして資料の多い黒龍江省内から選定した。大興安嶺地区の面積は約4万 $\text{km}^2$ あり、一部には耕地も存在し、耕地面積は1989年に53 $\text{km}^2$ から1999年の1,000 $\text{km}^2$ になっているが、全域の約2%の面積率である。また、大興安嶺地区の年平均気温は $-2^{\circ}\text{C}$ 以下、年降水量が450～500mmである(WangJuan 2007)。ほとんど全域が森林に覆われている。樹種は主に興安落葉松 (*Larix gmelinii* var. *olgensis*) で、次に樟子松 (*Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv.) と雲杉 (*Picea koraiensis* Nakai.) となる。落葉樹林は白樺 (*Betula platyphylla* Sukatchev var. *japonica* Hara.)、山楊 (*Populus davidiana* Dode.) などから構成される(Wang et al. 2007; 吉良 2001)。本研究では、図-3.1に示す黒龍江省大興安嶺地区内の北部となる約4,160 $\text{km}^2$ （65ピクセル：北緯 $52^{\circ}54' \sim 53^{\circ}34'$  東経 $122^{\circ}08' \sim 124^{\circ}48'$ ）の森林地を対象としてNDVIを検討した。

敖漢旗：敖漢旗（日本語読み‘ごうかんき’）は赤峰市の南東部に位置し、面積は8,294 $\text{km}^2$ あり、内蒙古のホルチン砂地の南端となり、温帯大陸性乾燥気候帯に属する。年平均気温は $5 \sim 7^{\circ}\text{C}$ 、年降水量は350～460mmである(内蒙古自治区地図制印院 2006)。耕地面積は1989年には1,260 $\text{km}^2$ (15%)であったが、1999年には1,810 $\text{km}^2$  (21.8%)に増加している(内蒙古自治区統計局 1989-2000)。穀類、野菜などの生産量は1970年代と比べて8倍に増加しており、GDPは10倍に、住民の平均年収は16倍に増加している(内蒙古自治区人民政府 2000)。また、1970年代以降、敖漢旗では植林や草本植栽などの大規模な緑化活動が展開され、約380 $\text{km}^2$  (4.6%)だった砂丘が現在では60 $\text{km}^2$  (0.7%)まで縮小した(内蒙古自治区人民政府 2000)。結果として、建国初期(1949年～)には1%程度だった敖漢旗の森林被覆率は現在では43.5%に達している。なお、敖漢旗は砂漠緑化による生態環境の成果が評価され、2002年に国連環境計画(United Nations Environment Programme)から世界環境ベスト500(Global 500)に指定されている。本研究では、敖漢旗全域(113ピクセル：北緯 $41^{\circ}42' \sim 43^{\circ}01'$  東経 $119^{\circ}30' \sim 120^{\circ}54'$ )を対象とした。

エジンホロ旗: オルドス市(元・伊克昭盟)のエジンホロ旗は北京から西北におよそ 800km にあり、面積は 5,955km<sup>2</sup> ある。三方を黄河に囲まれたオルドス高原にある。東部は黄土高原と接し浸食谷が連なり、南部は毛烏素砂地と接し砂漠地帯が広がる。主に 7~9 月に降雨量が集中する温帯大陸性乾燥気候帯に属し、年平均気温は 6.0~6.3℃、年降水量が 340~420mm である(李博 1990)。エジンホロ旗においては、1949 年の時点で耕地面積は全域の 13.8%を占め、森林被覆率は 0.24%であり(「伊金霍洛旗志」編集委員会 1997)、1950 年代末から大規模な開墾と、過剰な放牧といった主に人為的要因によって一時的に急速な砂漠化が進行した(趙燁.史培軍. 1988;額尔德尼.方亮. 2000)。一方、1949 年から砂漠化防止対策として植林植草対策が継続的に取られたことによって 1980 年代後半から 1990 年後半にかけて植生は回復しており、2007 年には森林被覆率が 32.6%に達している(国家林業局. 2008)。それに伴い、農地利用も制限され(Borjigin 2008)、耕地面積は 1989 年に 4%になり、1999 年には 1%足らずの面積率へと減少傾向であった(内蒙古自治区統計局 1989-2000)。1999 年の時点においては、森林面積が 1,644km<sup>2</sup>で総面積の 27.6%を占め、草原面積が 3,414km<sup>2</sup>で総面積の 57.3%を占める。植生は主に沙蒿 (*Artemisia sphaerocephala* Krasch.), 樺条 (*Caragana korshinskii* Kom.) などの低木類からなる(小長谷有紀, シンジルト, 中尾正義 2005)。なお、エジンホロ旗はこれらの緑化事業の成果によって、中国国内において「全国緑化先進旗」、「全国緑化百佳県」、「全国退耕還林継続産先進旗」などの指定を受けている。本研究では、その全域 (91 ピクセル: 北緯 52°54'~53°34' 東経 122°08'~124°48') を対象とした。

エジナ旗: エジナ旗は内蒙古最西端のアラシャ (阿拉善) 盟に属し、面積は 114,606km<sup>2</sup> である。典型的な温帯大陸性乾燥気候帯に属し、年平均気温は 8.3℃、年降水量は 37mm である(王根緒, 程国棟, 沈永平 2002) (内蒙古自治区地図制印院 2006)。1960 年代以降、降水量の減少によってエジナ旗オアシスに流入する黒河の河川水が断流し、開発などの人的要因も合わさってエジナ旗オアシスは消滅しつつある(王根緒, 程国棟, 沈永平 2002)。黒河流域における森林の衰退は 1950 年代から生じていたが、特に下流域で顕著である。黒河下流域においては、胡楊 (*Populus euphratica* Oliv.)・沙枣 (*Elaeagnus angustifolia* L.)・怪柳 (*Tamarix chinensis* Lour.) 林の面積が 1958~1982 年において 573km<sup>2</sup>減少し、1983~1994 年にさらに 1,924km<sup>2</sup>減少し、2001 年に 1,000km<sup>2</sup>となり、全域のわずか 0.9%となった(内蒙古自治区人民政府 2000;Liu 2001;王 et al. 2002;Taogerile 2002)。エジナ旗全体での耕地面積の割合は小さく、1989 年の時点で 20km<sup>2</sup>、1999 年に 19km<sup>2</sup>と大きな変化は見られない(内蒙古自治区統計局 1989-2000)。エジナ旗において NDVI の検討に用いた地域は、植生の減少が顕著な黒河下流域を含む 6,144km<sup>2</sup> (96 ピクセル: 北緯 41°06'~42°38' 東経 99°45'~101°21') である。

### 3.4.2.2 選定地域における NDVI の値

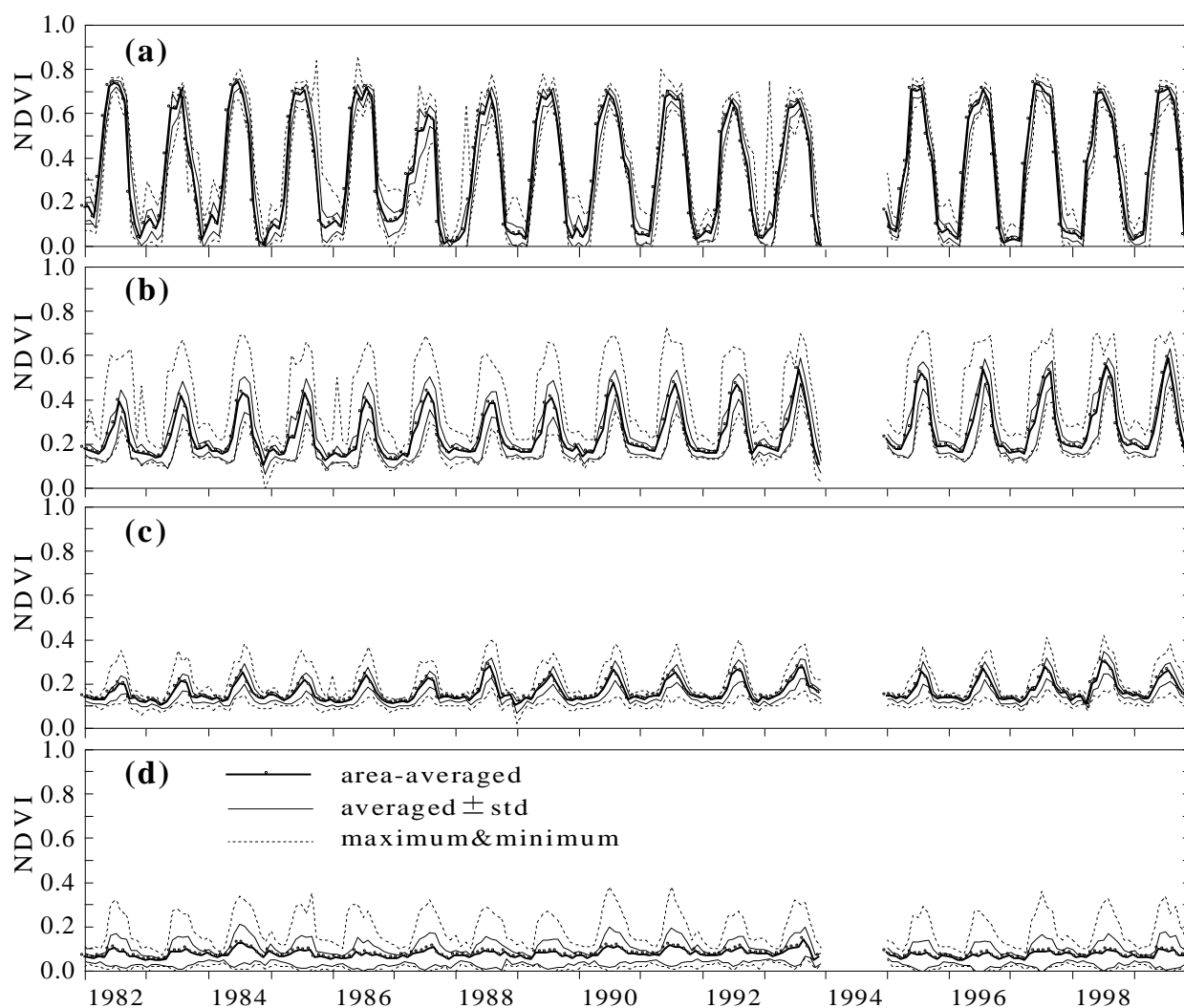


図-3.7 NDVI の 1982～1999 年（1994 年を除く）の変化

(a)黒龍江省大興安嶺地区, (b)敖漢旗, (c)エジンホロ旗, (d)エジナ旗  
太線：地域平均値, 点線：地域最大値と最小値, 実線：地域標準偏差

図-3.7 は、4 地域の 1982～1999 年の NDVI を示している。この図には、4 地域の対象地域について NDVI の最大値、最小値と全ピクセルの平均値及びその標準偏差を示した。NDVI は夏に高く、冬に低い季節変化を示しているが、各地の夏季の値は各地域内の最大値、最小値、平均値のいずれも大興安嶺地区が最も高く、敖漢旗、エジンホロ旗、エジナ旗の順に低くなる。

大興安嶺地区内では、1987 年に森林火災が発生し、約 13,300km<sup>2</sup>（北緯 52°15′～53°34′ 東経 122°18′～124°05′）が焼失している(曹 et al. 2000;Kong 2004;Idris et al. 2005)。この火災が NOAA/NDVI に与えた影響については、火災の被害が多いピクセルを特定して時系列変化を

検討した(Idris et al. 2005)の研究がある。本研究では、対象地の全ピクセルを平均した値を用いるので、火災によって1987年にはNDVIが例年より低い値を示すという影響があるものの、以後の年において影響はほとんど見られない。また、図-3.7aに示したNDVIの経年変化から、冬期に0.1~0.2程度に低下したNDVIは、夏期においては0.7を越える値となり、夏季に他の3地域に比較して顕著に高いNDVIを示していることが分かる。

赤峰市敖漢旗(図-3.7b)では、夏期において、NDVIの最大値と最小値の差が大きく、対象地域内にさまざまな状態の植生が存在していることが示唆される。また、前述したように約20%以上の農耕地が存在するため、冬季におけるNDVI平均値が他の地域より比較的大きいことが示されている。

エジンホロ旗(図-3.7c)においては、NDVIは最大値でも夏期に0.4に到達せず、草地や疎な植生しか存在していないことを示す。赤峰市敖漢旗(図-3.7b)に比較してNDVI最大値と平均値の差が小さい。

エジナ旗のNDVI平均値は夏でも0に近い値で植生が乏しい場所であることに対応している。また、最大値はNDVIが0.3前後となっており、一部には植生が存在している。図-3.7dのNDVI最大値の季節変化から、対象地内には草地や耕地など、植生にある程度被われる地域も存在するものの、多くの地域の植生はきわめて貧弱であることが示唆される。

### 3.4.2.3 選定地域におけるNDVIの季節変化

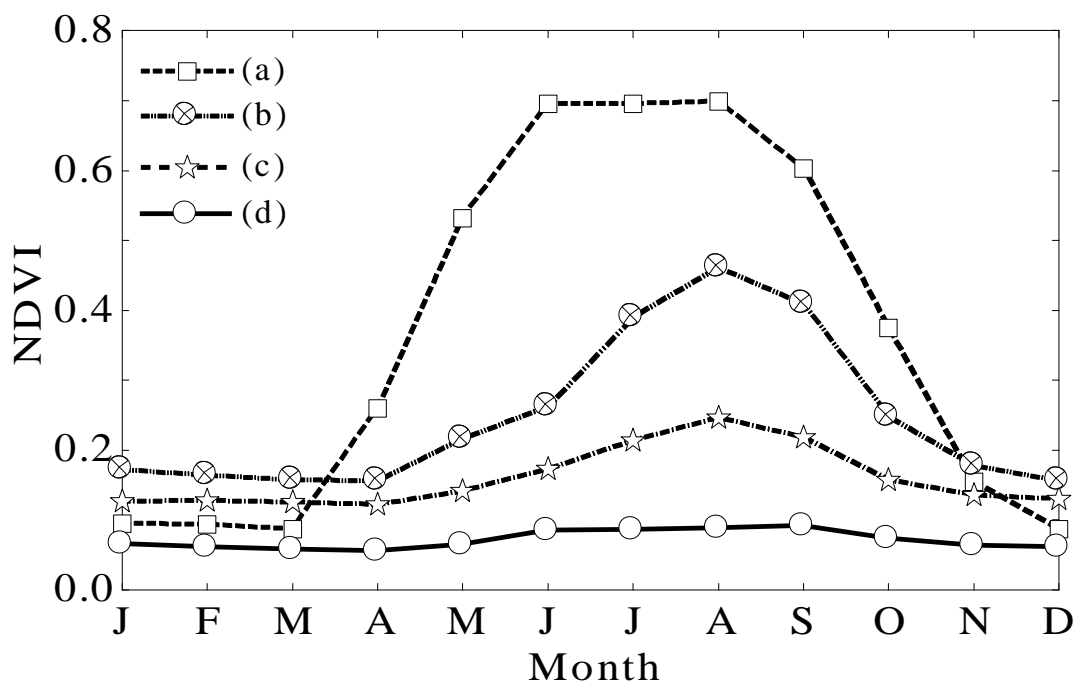


図-3.8 4地域のNDVI季節変化(1982~1999年の平均値(1994年を除く))

(a)黒龍江省大興安嶺地区, (b)敖漢旗, (c)エジンホロ旗, (d)エジナ旗



選定地域における NDVI の年間季節変化を示すために 1982~1999 年の期間における月平均値を求め、図-3.8 に示した。選定した 4 地域の植生型に応じて、着葉期は高い値を、非成長期には低い値を示すタイプ（森林、草原など）、一年を通じて低い値を示すタイプ（砂漠など）といった特徴が現れる(Chen et al. 1999;Li,Shi 1999;Tateishi,Ebata 2004;Huang,Siebert 2006)。

NDVI の季節毎の経年変動：衛星データに基づく NDVI の季節毎の経年変動は地上観測による NDVI 季節変動と対応し関連性が高いことが明らかとされている。また、NDVI の年間積算量がバイオマスと関連することが明らかにされている。特に、乾燥地域の季節変動が明瞭であり、植生の季節変動の特性も顕著に表れることによって NDVI 季節性が他の気候帯の NDVI と比較して顕著な季節性が現れるのが特徴的である。

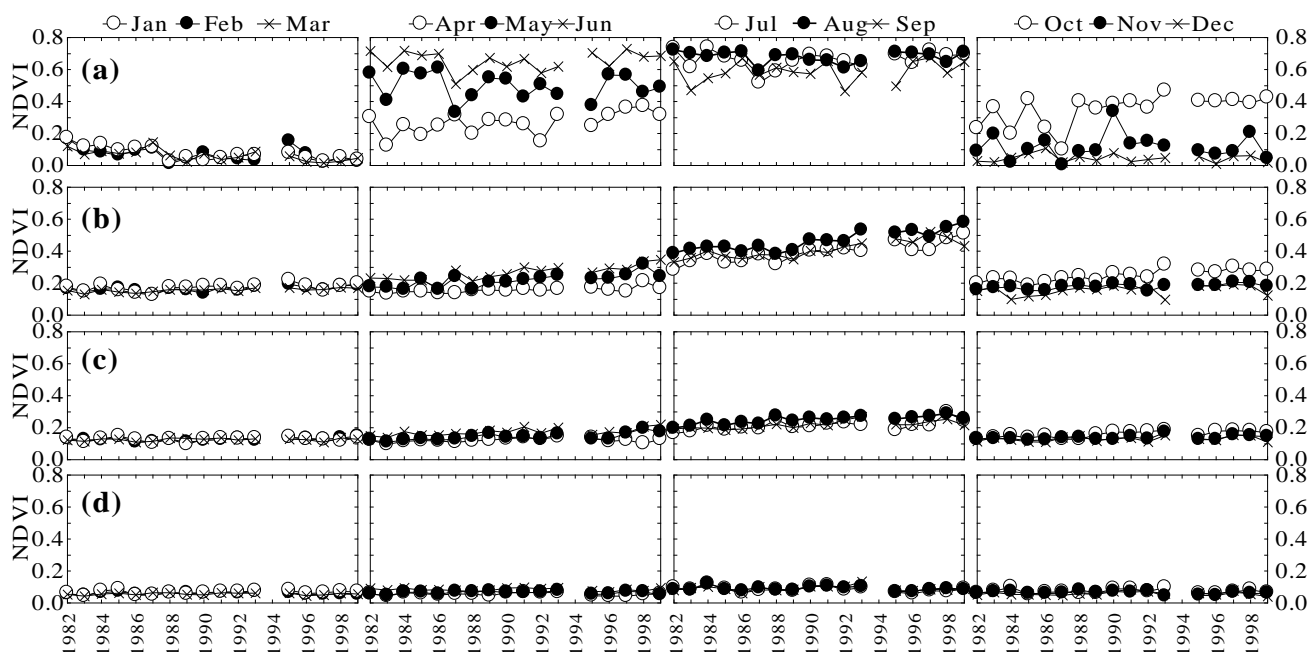


図-3.9 4地域の各月 NDVI 平均値の経年変化

(a)黒龍江省大興安嶺地区, (b)敖漢旗, (c)エジンホロ旗, (d)エジナ旗

4 地域の月毎の NDVI について経年変化で示したのが図-3.9 である。図-3.9 に示したように植生の成長がない期間（1～3 月と 12 月）においては、NDVI の値が低く、年々変動も小さく、経年変化も認められない。一方、植生の成長期間では次第に値が大きくなる地域があり、その地域の植生変化が推測できる。

7, 8, 9 月の値は各地とも一年のうち大きい値を示し、図-3.7 と図-3.8 の季節変化で説明したように地域によりその値が異なるだけではなく、その年々変動と長期間を通じた増減は地域毎に異なる。

大興安嶺地区（図-3.9a）で、各月の NDVI の経年変化について見ると、7～9 月は長期的

に変化する傾向は見られないが、4月と10月に経年的に増加する傾向がある。植生状態に大きな変化はないが、温暖化等の影響で落葉樹の展葉時期(4月)が早くなり、落葉時期(10月)が遅くなっている可能性を示す結果である。

敖漢旗(図-3.9b)においては、5~9月のNDVI値に明確な増加傾向があり、その年々変動は比較的小さい。1982年から1999年にかけて7~9月のNDVIは0.2程度増加している。

エジンホロ旗(図-3.9c)においては、7~9月においてNDVIは増加傾向を示す。しかし、敖漢旗と比較してその上昇は小さく、1982~1999年のNDVIの増加は0.1程度である。

エジナ旗(図-3.9d)においては、どの月のNDVIにも明瞭な経年的増減の傾向は見られない。地域全体での植生劣化が進行しているが、元々のNDVI値が小さく図-3.9の表示ではその減少が検出されにくいためと考えられる。

敖漢旗とエジンホロ旗の7~9月に見られる明瞭な増加傾向は、年々の変動が小さい単調増加であるので、これらの地域では1982~1999年に継続して植生増加が生じていたと判断される。

#### 3.4.2.4 選定地域内の定点におけるNDVI増減の特徴

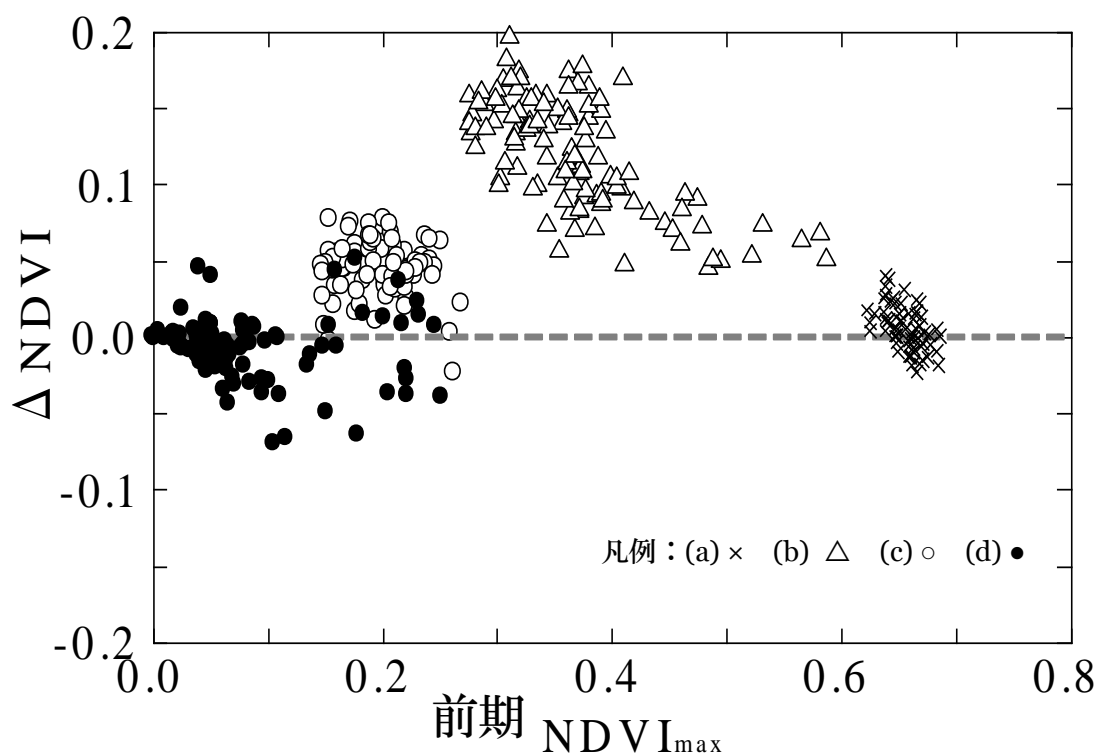


図-3.10 4地域における $\Delta\text{NDVI}$ と前期 $\text{NDVI}_{\max}$ の関係

(a)黒龍江省大興安嶺地区, (b)敖漢旗, (c)エジンホロ旗, (d)エジナ旗。

上記4地域の前期  $NDVI_{max}$  と  $\Delta NDVI$  との各ピクセルにおける関係を図-3.10 に示す。 $NDVI_{max}$  が 0.6~0.7 の大興安嶺地区では  $\Delta NDVI$  が 0.05 程度のばらつきを伴うものの 0 近傍に分布が集中しており、前期から後期にかけて森林植生が大きな変化なく維持されているという実態と対応している。 $NDVI_{max}$  が 0.25~0.6 の敖漢旗及び 0.1~0.3 のエジンホロ旗では、両地域の  $NDVI$  経年変化で明確な増加傾向が検出された（図-3.9b,c）という結果を反映し、敖漢旗の  $\Delta NDVI$  はほぼ 0.05 以上の正側に分布しており、3.4.2.1 に記した敖漢旗での耕地の増加と森林被覆率の増加（内蒙古自治区統計局 1989-2000）（内蒙古自治区人民政府弁 2000）との対応が示された。またエジンホロ旗の  $\Delta NDVI$  分布のばらつきは大興安嶺地区と同程度であるが、敖漢旗については、前期  $NDVI_{max}$  も  $\Delta NDVI$  も幅広く分布している。そして、前期  $NDVI_{max}$  が高い地域においては、 $\Delta NDVI$  が小さい傾向がある。

エジン旗においては、前期  $NDVI_{max}$  が 0~0.25 の分布を持つが、前期  $NDVI_{max}$  が 0.05 以下の範囲では  $\Delta NDVI$  が 0 近傍に集中して分布しており、前期  $NDVI_{max}$  が 0.05~0.25 の範囲では  $\Delta NDVI$  が他の3地域に比較して明瞭に負側に偏りがあることが示された。

図-3.9 では、エジン旗の植生長期変化は不明瞭であるが、図-3.10 より、 $NDVI$  が 0.05 以下のもともとほとんど植生のない地点はその状態に変化が少ない一方で、 $NDVI$  が 0.05~0.25 のある程度植生が存在する地点では植生減少を示す地点がかなり存在していると解釈される。

### 3.5 内蒙古自治区全域における $NDVI$ の変化

内蒙古自治区全体での  $\Delta NDVI$  を、図-3.10 と同様の方法で前期  $NDVI_{max}$  と対比させた散布図を図-3.11 に示す。図-3.11 には右側に、 $\Delta NDVI$  の面積率（3.3 で示した  $\beta_j$  の分布）も併せて示している。

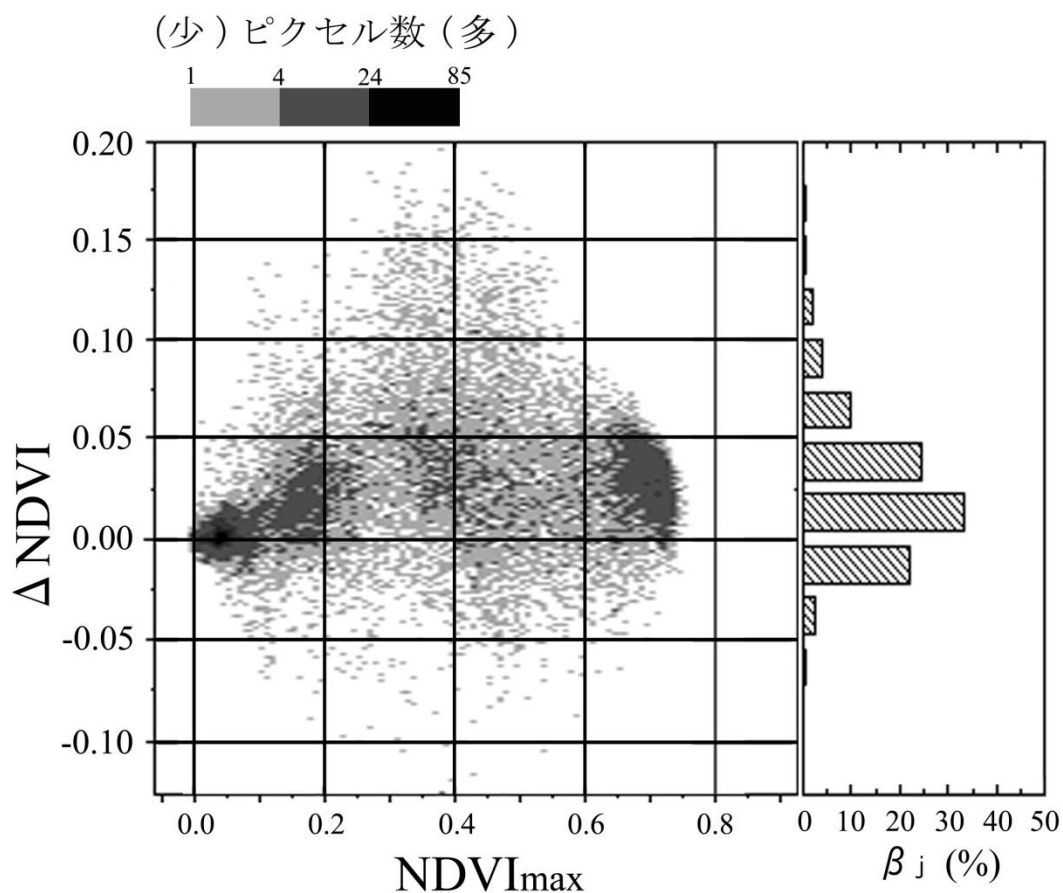


図-3.11 内蒙古自治区内の  $\Delta\text{NDVI}$  の分布と前期  $\text{NDVI}_{\max}$  との関係

右側に  $\Delta\text{NDVI}$  の面積率も併せて示している。

$\beta_j$ : 内蒙古自治区全域に対する  $\Delta\text{NDVI}$  の面積率 ((3.3)式参照)。

図-3.11 から、図-3.6 において前期  $\text{NDVI}_{\max}$  の面積率が最も高かった  $0.0 \sim 0.05$  の領域においては、 $\Delta\text{NDVI}$  は 0 付近に集中して分布し、大きな変化が見られない。また、前期  $\text{NDVI}_{\max}$  が二番目に高かった  $0.65 \sim 0.70$  の領域についても  $\Delta\text{NDVI}$  の分布は集中しているが、 $\Delta\text{NDVI}$  は  $0.0 \sim 0.05$  に集中しており、正の傾向という結果である。その間の領域において、 $\Delta\text{NDVI}$  は幅広く分布しているが、分布は全体的に正側に偏っている。 $\Delta\text{NDVI}$  の面積率から、内蒙古全体では  $\Delta\text{NDVI}$  は正の傾向にある。

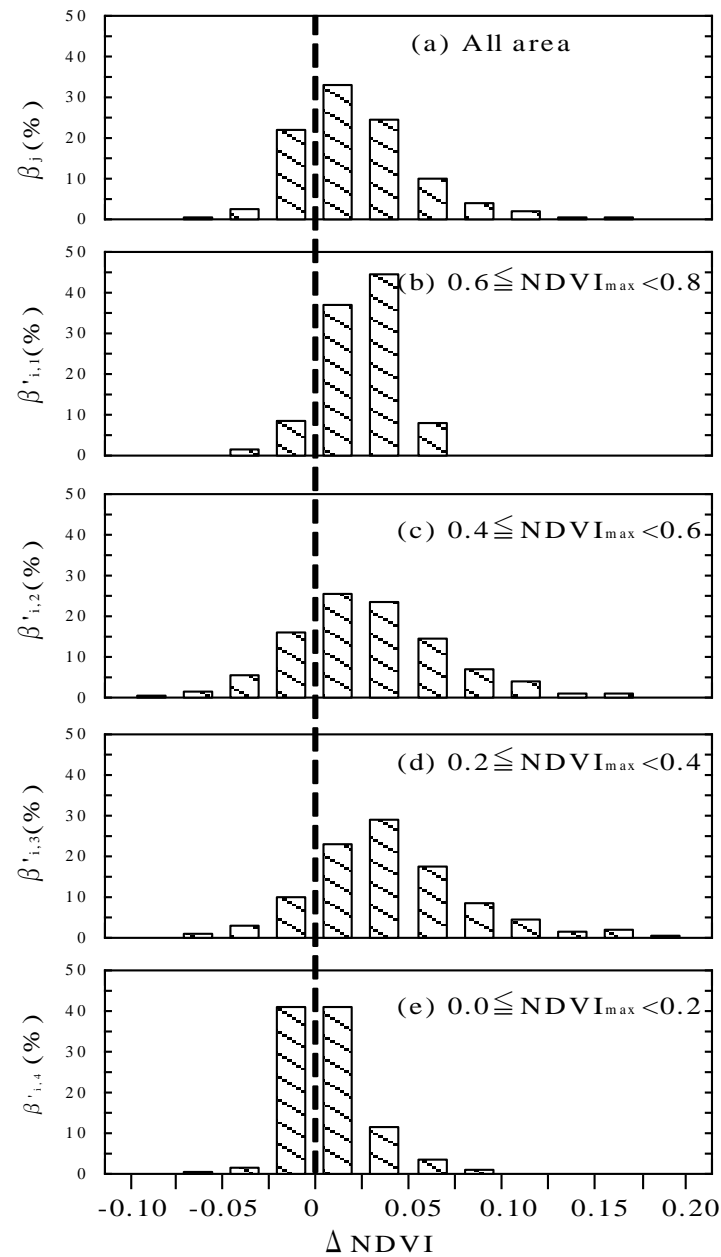


図-3.12 内蒙古自治区全域と前期  $NDVI_{max}$  で区分した  $\Delta NDVI$  の面積率

- (a) 内蒙古全域に対する  $\Delta NDVI$  の面積率 ( $\beta_i$ , (3.3)式参照)
- (b)  $0.6 \leq NDVI_{max} < 0.8$  の地域における  $\Delta NDVI$  の面積率 ( $\beta'_{i,1}$ , (3.4)式参照)
- (c)  $0.4 \leq NDVI_{max} < 0.6$  の地域における  $\Delta NDVI$  の面積率 ( $\beta'_{i,2}$ )
- (d)  $0.2 \leq NDVI_{max} < 0.4$  の地域における  $\Delta NDVI$  の面積率 ( $\beta'_{i,3}$ )
- (e)  $0.0 \leq NDVI_{max} < 0.2$  の地域における  $\Delta NDVI$  の面積率 ( $\beta'_{i,4}$ )

前期  $NDVI_{max}$  を幅 0.2 の階級に分けて  $\Delta NDVI$  の面積率を示したのが図-3.12 である (図

-3.12(a)は3.3に説明する $\beta_j$ , 図-3.12(b)~(e)は $\beta'_{ij}$ の分布)。図-3.12から, 前期 $\text{NDVI}_{\max}$ のクラスによって,  $\Delta\text{NDVI}$ の面積率が変化していることが分かる。もともと植生が多い前期 $\text{NDVI}_{\max}$ が0.6以上と最も高いクラス(図-3.12b)では, 多くが $\Delta\text{NDVI}>0$ で増加傾向であるが $\Delta\text{NDVI}$ が0.025~0.05の割合が高く, 0.05以上増加したところはむしろ少ない。前期 $\text{NDVI}_{\max}$ が小さくなるにつれ(図-3.12c,d),  $\Delta\text{NDVI}>0.05$ と $\Delta\text{NDVI}<-0.025$ の割合が増え, 棒グラフが示す山形の裾が広い。しかし, 前期 $\text{NDVI}_{\max}$ が最も低いクラス(図-3.12e)においては,  $\Delta\text{NDVI}>0.05$ の割合が小さく,  $\Delta\text{NDVI}$ が負の値( $-0.05\sim 0$ )を取る面積率が他のクラスに比較して顕著に高い。このように,  $\Delta\text{NDVI}>0$ で植生増加が, また $\Delta\text{NDVI}<0$ で植生減少が生じたと考えられる地域の出現割合には, もともとの植生状態による差が見られる。

図-3.10の結果から, 現地資料によって植生がほとんど変化していないとされている大興安嶺地区でも,  $\Delta\text{NDVI}$ が $\pm 0.05$ 程度の幅をもって分布していることから, 植生変化について明確なシグナルを検出するためには,  $\Delta\text{NDVI}$ についてその正負のみで論ずるのではなく, ある程度の閾値を設けて検討することが必要だと考えられる。

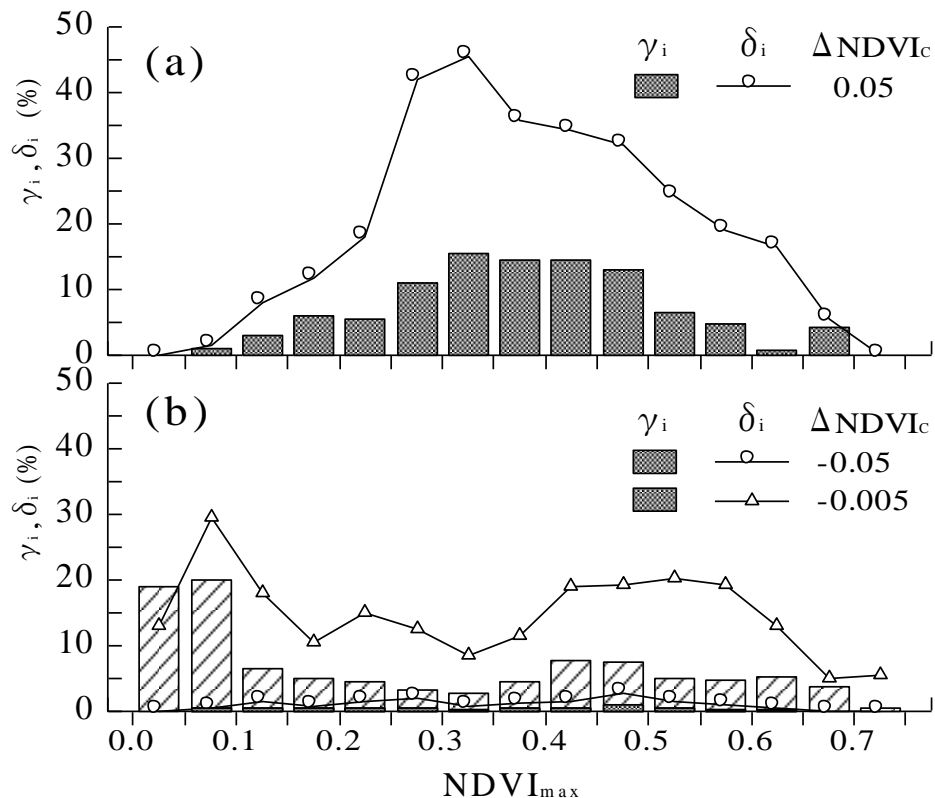


図-3.13 前期 $\text{NDVI}_{\max}$ と $\text{NDVI}$ が変化した面積率の関係

(a)NDVI 増加域, (b) NDVI 減少域

$\Delta\text{NDVI}_c$  : 増減域集計の閾値。

$\gamma_i$  : 内蒙古自治区全域の前期  $\text{NDVI}_{\max}$  面積に対する NDVI が増加 (減少) した面積割合 ((4)式参照), 棒グラフ表示。

$\delta_i$  : 前期  $\text{NDVI}_{\max}$  毎の面積に対する NDVI が増加 (減少) した面積の割合 ((5)式参照), 折れ線グラフ表示。

増加域判定の閾値は 0.05, 減少域の閾値は  $-0.005$  と  $-0.05$  の結果を表示。

図-3.13 では, 設定した閾値を越えて NDVI が増減した面積について, 3.3 で示した  $\gamma_i$  を棒グラフで,  $\delta_i$  を折れ線グラフ図示した。まず, 設定した閾値は大興安嶺林地区の  $\Delta\text{NDVI}$  の範囲 (ほぼ  $\pm 0.05$ ) より,  $\pm 0.05$  である。その結果, 図-3.13 の黒い棒グラフが示すように植生減少を意味する  $\Delta\text{NDVI}$  が負の地域はわずかで, 植生増加を意味する  $\Delta\text{NDVI}$  の正の地域は  $\Delta\text{NDVI}$  が負の地域に比べて高い面積率となった。図-3.13a から,  $\Delta\text{NDVI} > 0.05$  の地域は,  $\gamma_i$  と  $\delta_i$  の両指標とも前期  $\text{NDVI}_{\max}$  が中程度 ( $0.2 \sim 0.6$ ) の地域において出現の面積率が高いことが分かる。もともと著しく植生の乏しい所 ( $\text{NDVI}_{\max}$  が 0.2 以下) や森林に覆われた所 ( $\text{NDVI}_{\max}$  が 0.6 以上) ではなく, その中間の比較的疎な植生であった所で主に植生が増加したと見られる結果である。

それに対して,  $\Delta\text{NDVI} < -0.05$  の地点は少なく, 前期  $\text{NDVI}_{\max}$  に対する  $\gamma_i$  と  $\delta_i$  の分布の傾向も必ずしも明らかではない。そこで,  $\Delta\text{NDVI}$  の負側を更に検討するため  $-0.005$  とする閾値を設定し, 図-3.13b にその  $\gamma_i$  の分布を斜線の棒グラフで示した。この閾値は, 0.05 を閾値として得られた  $\Delta\text{NDVI}$  が正の地域と該当面積がほぼ等しくなる水準として選択した。 $\Delta\text{NDVI}$  が正負変動の幅があり, 上記のように必ずしも同程度の幅を取り, 正負変動の閾値を決めるのではなく,  $\Delta\text{NDVI}$  の正負変動の面積率がほぼ同程度である幅を取った場合, 負の変動幅の閾値を小さく考える必要がある。従って, 閾値を  $-0.005$  として求めた NDVI の減少地点についての  $\gamma_i$  は, 図-3.6 で示される内蒙古全体での前期  $\text{NDVI}_{\max}$  の面積率  $\alpha_i$  と一見似た分布を取っているように見える。これは,  $-0.005$  という負側の閾値の小ささから, ノイズなどにより NDVI 全体に現れる変動であると理解されるかもしれない。しかしながら, NDVI が減少した全面積に対する NDVI 毎の NDVI 減少面積の割合  $\gamma_i$  ではなく, NDVI 毎の分布面積に対する NDVI 毎の NDVI 減少面積の割合  $\delta_i$  に着目すると, 図-3.13b の  $-0.005$  を閾値とした  $\delta_i$  の値は一様ではなく, 前期  $\text{NDVI}_{\max}$  が  $0.05 \sim 0.1$  で高く,  $0.65 \sim 0.75$  で低いという結果である。これは閾値を小さく設定した条件での結果であり, 植生増加域の特徴ほど明瞭であるとはいえないが, 前期  $\text{NDVI}_{\max}$  が  $0.05 \sim 0.1$  のかなり植生が乏しい地域において, 現存量が小さく疎な植生が更にその被度を低下させるなどの植生減少が比較的広い面積で生じた可能性が  $\delta_i$  の折れ線グラフから想定される。

なお, 有意な NDVI 変化を判断する閾値の設定は, ここで用いた  $\Delta\text{NDVI}$  ではなく,  $\Delta\text{NDVI}/\text{NDVI}$  を用いる文献もある (R. B. Myneni 1997)。NDVI は定義により 0 や負の値をと

ることもあるので、本研究では NDVI を分母とする閾値の設定を採用していないが、分数型の閾値の設定は NDVI が低いところでは  $\Delta\text{NDVI}$  の閾値は NDVI に比例した小さい値を取ることに相当する。 $-0.005$  という小さい値の閾値の設定により  $\text{NDVI}_{\max}$  が低く植生が乏しいところにおいて植生減少が検出された結果は、分数型の閾値の設定によると単一の閾値設定で検出されるものと思われる。

### 3.6 内蒙古自治区における植生変化

以上の検討に基づいて  $\Delta\text{NDVI}$  が正のピクセルについては  $0.05$ 、負のピクセルについては  $-0.005$  の閾値を用いて植生が増減した地域を抽出し、図化したもの ( $\Delta\text{NDVI} < -0.05$  の地域も表現) を図-3.14 に示す。図-3.14 から、 $\Delta\text{NDVI}$  が正の値を取る地域 (図-3.14a) と、負の値を取る地域 (図-3.14b) の分布域は明らかに異なる。図-3.14a から  $\Delta\text{NDVI} > 0.05$  の地域は、内蒙古の南側を東部から北東部にかけてまとまった面積で存在しており、赤峰市の敖漢旗を中心とした地域で顕著に  $\Delta\text{NDVI}$  の値が大きいことが見られる。この他にまとまって  $\Delta\text{NDVI}$  が正の大きい値を取る地域を具体的に記すと東から、通遼市 (元・哲里木盟)、シリソゴル (錫林郭勒) 盟、フフホト市、バヤンヌール市のそれぞれ一部となる。なお、バヤンヌール市の  $\Delta\text{NDVI}$  が正の値を取る地域は、主に河套灌漑区とその周辺である。

図-3.14b から内蒙古内で  $\Delta\text{NDVI} < -0.05$ 、及び  $-0.05 < \Delta\text{NDVI} < -0.01$  の地域は、 $\Delta\text{NDVI}$  が正の地域と比較して、個々が小さな面積であるが、内蒙古東北地域となるフルンベル砂地、シリソゴル盟の北部となる草原ステップ及びホルチン砂地の北部などに分布する。そして、 $\Delta\text{NDVI} < -0.05$  の地域は、 $-0.05 < \Delta\text{NDVI} < -0.01$  の地域がその近傍に囲むように存在していることが多く、ある程度の広がりを持ってこれらの地域で植生が減少したことが抽出されている。また、 $-0.010 < \Delta\text{NDVI} < -0.005$  の地域については、大まかな傾向として内蒙古の西部の砂漠地域周辺 (アラシャ盟) での連続した分布が目立つ。図-3.13b の  $\delta_i$  の結果とともに、 $\Delta\text{NDVI}$  が負の傾向がある地域がもともと植生の乏しい乾燥地に比較的多く抽出されたことは、乾燥地やもともと植生の乏しい地域における砂漠化や植生劣化の進行を示唆すると考えられる。

内蒙古自治区の周辺において、内蒙古の南西側 (甘蘇省、青海省 (Dai 2006)、陝西省など) に  $\Delta\text{NDVI}$  が負の地域が多く示される結果となった。また、黒竜江省のハルビン市の周辺地域においても、1990 年代後期において  $\Delta\text{NDVI}$  の正の変動が抽出された。アムール川の周辺地域及びハルビン市の都市域の周辺における植生被覆率の増勢は、主に農地拡大による緑地の増勢とされ、自然の湿地から農地に変遷していると指摘されている (増田佳孝 et al. 2006)。しかし内蒙古自治区外については、この図に示された結果と実際の植生変化の比較検討作業は今後の課題として、本研究では立ち入らない。



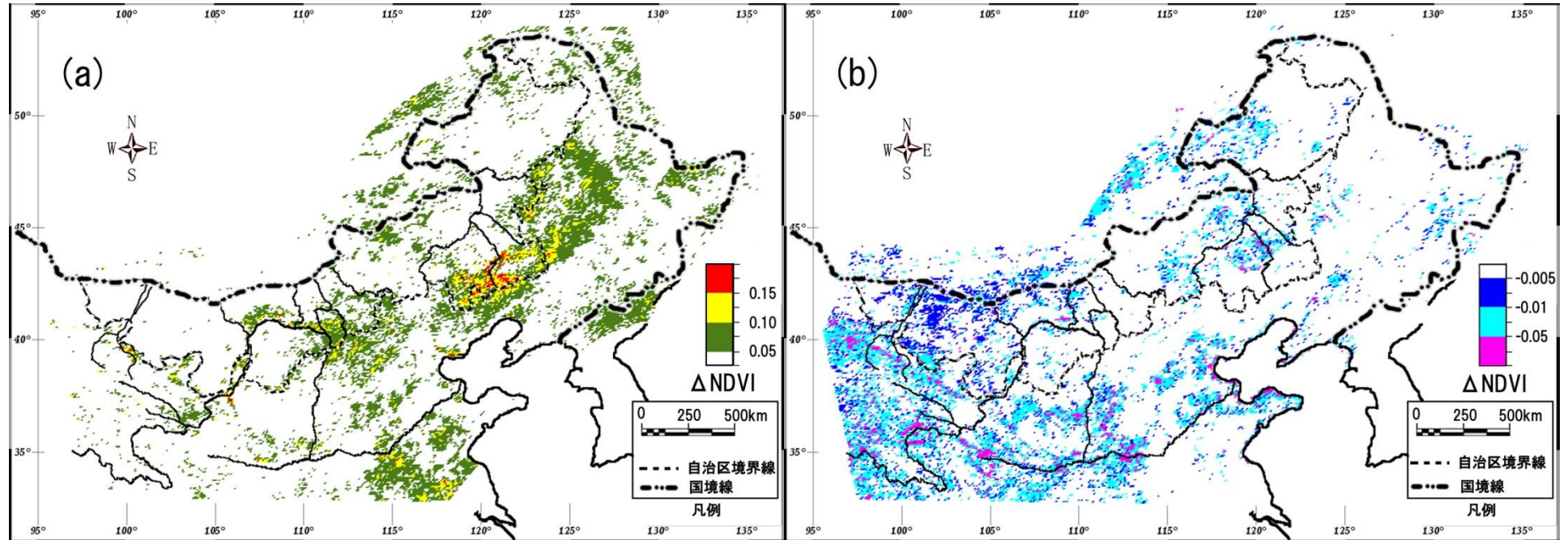


図-3.14  $\Delta\text{NDVI}$ の(a)正域(閾値: +0.05)と(b)負域(閾値: -0.005)の分布

### 3.7 統計資料との比較

これまでに述べたように内蒙古自治区において、 $\Delta\text{NDVI}$  が 0.05 より大きく抽出された地域は  $\text{NDVI}$  が 0.2~0.6 の草地や耕地に多く分布していることが分かった。 $\text{NDVI}$  増加の要因においては、大きく分けて人的要因と気象要因であると考えられる。内蒙古自治区における人的要因には、主に砂漠化地域における緑化事業による森林造成や緑地造成がもたらす植生面積の増加と新しく開拓された耕作地の増加による植生面積の増加がある。一方で、気象的要因による植生変動もあるされ、地球温暖化がもたらす光合成の活発化や葉面積の増加によって植生面積の拡大や植被率の上昇をもたらすと指摘する(R. B. Myneni 1997)。しかし、土地利用の改善及び自然保護などの視点からどの要因が内蒙古自治区における  $\text{NDVI}$  増加をもたらした主因となっているかの検討が必要である。そこで、行政区(2万~20万  $\text{km}^2$  のスケール)での  $\text{NDVI}$  増加面積と造林面積、耕地化面積の統計データを対比し、「両者の相関が高ければ、 $\text{NDVI}$  増加に与える緑化と耕地化による人為的な植生増加の影響が大きく、相関が低ければ気候変化など他の影響が大きい」との仮説を設け、検討を加えた。

内モン統計年鑑(1989~2000)(内蒙古自治区統計局 1989-2000)及び内モン年鑑(1999~2000)(内蒙古自治区人民政府弁 2000)に基づいて、1989~1999年の間の造林面積と耕地化面積を求め、 $\Delta\text{NDVI}$  により植生の増加( $\Delta\text{NDVI}>0.05$ )が抽出された面積とともに各行政区毎に集計した結果が表-3.1である。ここで造林面積とは、各年の造林面積を期間で合計した値であり、耕地化面積は1999年時点での耕地面積から1989年時点での耕地面積を引いた値である。造林面積と耕地化面積の大小には行政区の広さも影響するので、表-3.1にはそれぞれの面積率も示した。

表-3.1 内蒙古自治区の各行政区における造林・耕地化面積と  $\text{NDVI}$  の増加した地域の面積

行政区名	総面積 $\text{km}^2$	造林面積 (1989~1999年)		耕地化面積 (1989~1999年)		造林、耕地化 面積率の合計 %	NDVI増加 地域の面積	
		$\text{km}^2$	%	$\text{km}^2$	%		$\text{km}^2$	%
アラシャ(阿拉善)盟	270,200	412	0.2	94	0.0	0.2	4,539	1.7
フリンベル(呼倫貝爾)市	253,000	1,366	0.5	6,722	2.5	3.1	26,003	9.8
シリントル(錫林郭勒)盟	202,600	1,049	0.5	1,022	0.5	1.0	30,088	14.9
赤峰市	90,000	9,459	10.5	2,704	3.0	13.5	37,545	41.6
オールドス(鄂尔多斯)市	86,800	7,725	8.9	2,580	3.0	11.9	14,331	16.5
バヤンヌール(巴彥淖爾)市	64,400	1,929	2.9	2,896	4.4	7.3	12,969	19.7
興安盟	59,800	2,694	4.5	2,487	4.2	8.7	14,914	24.9
通遼市	59,500	7,527	12.6	2,520	4.2	16.9	34,044	57.2
ウランチャブ(烏蘭察布)市	55,000	5,045	9.3	-1,705	-3.1	6.1	18,805	34.5
包頭市	27,700	832	3.0	2,513	9.0	12.0	6,874	24.8
フフホト(呼和浩特)市	17,200	1,322	7.7	4,229	24.5	32.1	15,044	87.1
計	1,183,000	39,360	3.3	26,062	2.2	5.5	203,224	17.2

注： $\text{NDVI}$  増加面積は、 $\Delta\text{NDVI}=0.05$  の閾値を用いて算出。造林面積及び耕地化面積は、文献(内蒙古自治区統計局 1989-2000)(内蒙古自治区人民政府弁 2000)による。

表-3.1における造林・耕地化面積率と  $\Delta\text{NDVI}>0.05$  の値を取る面積率の関係を図-3.15に示す。図-3.15で、各行政区の造林面積率、耕地化面積率それぞれと  $\Delta\text{NDVI}>0.05$  の面積率

の対応関係は明瞭ではないが、造林面積率と耕地化面積率の合計は良好な対応関係が示される。

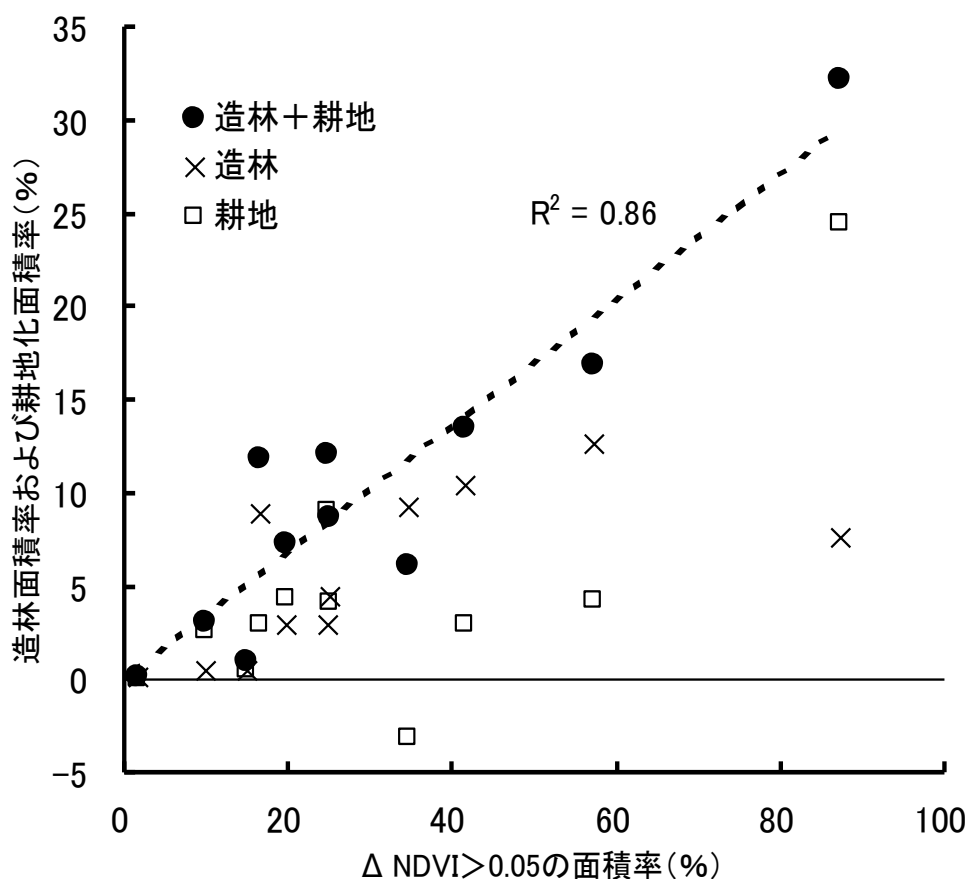


図-3.15 内蒙古自治区の行政区毎の造林・耕地化面積率と  $\Delta\text{NDVI}$  の増加した面積率 ( $\Delta\text{NDVI}_t=0.05$ )の関係

各行政区における造林面積と耕地化面積を合計した面積率と  $\Delta\text{NDVI}$  ( $\Delta\text{NDVI} > 0.05$ ) により抽出された植生増加地域の面積率の間に、図-3.15 に示す原点を通る直線関係(直線回帰)が見られたことは、

①内蒙古における植生増加は緑化活動と農地の拡大による(張 2004; Song 2004; Chu 2005; Dai 2006), という報告に対応し、

②0.05 を閾値とした  $\text{NDVI}$  増加地域の抽出結果は、広域において緑化活動と農地の拡大が生じた行政区単位での緑化面積と耕地化面積の統計値と対応し、植生変化の実態を示すという結果である。温暖化が  $\text{NDVI}$  に与える影響は、3.4.2.3 で述べたように大興安嶺地区の4月、10月の値の増加などに現れているが、内蒙古自治区における植生増加地域の抽出においては主要な要因となっていないと考えられる。

図-3.15 に示された NDVI 増加傾向と造林面積率と耕地化面積率の合計との良好な対応関係から、敖漢旗地域において顕著的な植生増加が示されたのは、造林事業及び耕地化による植生被覆率の増加であると指摘できる。この他に東から、通遼市（元・哲里木盟）、シリングゴル（錫林郭勒）盟、フフホト市、バヤンヌール市のそれぞれ一部で NDVI が増加しているがこれらも同様の植生変化であると判断できる。そして、バヤンヌール市で  $\Delta\text{NDVI}$  が正の値を取る河套灌漑区とその周辺の地域では、黄河引水による農耕地の拡大である土地利用変化と対応していると考えられる。

また、図-3.14 に示す植生変動の空間分布図から植生減少傾向が反映されたのは、主に内蒙古東北地域となるフルンベル砂地、シリングゴル盟の北部となる草原ステップ及びホルチン砂地の北部などに分布する。これらの地域においては、既往研究及び統計資料に示された砂漠化の進行された地域との対応もみられた。よって、本章の解析手法に基づいた結果、植生劣化の傾向がみられる地域は、もともと植生被覆率の低い砂漠周辺域で砂漠化が進行した結果であるという実態が示された。

なお、造林・耕地化面積率と  $\Delta\text{NDVI}$  が正の値を取る面積率では、 $\Delta\text{NDVI}$  が正の値を取る面積率の方が約3倍である（図-3.15）。この差異は、 $\Delta\text{NDVI}$  が正の値を取る面積の集計が1ピクセル（約8km分解能）毎であることによると考えられる。 $\Delta\text{NDVI}$  の集計では、8km分解能の領域の一部で植生が増加し NDVI の増加があるとき、その領域全体の面積が集計されるからである。両者が3倍異なるという結果は内蒙古において地域に関わらず平均的に8km分解能のピクセルに対応する領域の約1/3で造林、耕地化等の植生増加が生じていると考えられ、内蒙古において8km分解能の NOAA/AVHRR の NDVI から求めた植生増加地域の面積を実面積に換算する目安が得られたことを意味している。

## 3.8 まとめ

本章では、NOAA/AVHRR による衛星データから求められた NDVI を用いて中国内蒙古自治区の半乾燥・乾燥地での砂漠化及び緑化事業や農地開発による植生変化について、以下の知見を得た。

内蒙古全域においては1980年代から1990年代にかけて NDVI が増加した地域が減少した地域より多い。また、0.05 を閾値として求めた  $\Delta\text{NDVI}$  が正となる地域の面積は、統計資料に基づいて集計した行政区毎の造林地と耕地化された面積の合計と良好に対応し、内蒙古における植生増加が主に1980年代の前半からの緑化事業及び農耕地の拡大によって植生の被覆率の増加をもたらしたことを示した。

例えば、植林事業成果をあげた敖漢旗では、NDVI が年とともに増加する明瞭な傾向が示された。総じて、植生が増加した地域は、赤峰市、中でも敖漢旗が顕著で、その他では通遼市、シリングゴル盟、フフホト市、バヤンヌール市の一部でまとまって増加した場所がある。

一方で、植生減少が生じたと抽出された場所は、主に内蒙古西部の砂漠地域周辺（アラシャ盟）及び東北（ホルチン砂地）地域に分布する。もともと植生が乏しい地域で 8km 分解能の NOAA/AVHRR データで植生の減少を抽出することは植生増加域の抽出に比べ困難であるが、植生の劣化があるエジナ旗では、 $\Delta NDVI$  が  $-0.005$  以下となる傾向がピクセル単位の集計で示されるとともに、植生減少が生じた地域として抽出された。このような地域では NDVI 変化が小さなレベルにとどまる植生減少の影響が、砂漠化に直結するという意味で注意深く解釈する必要があり、今後より詳細なモニタリングが必要である。

また、本章では温暖化の影響による植生変化について気象記録と対比した検討を行ってないが、大興安嶺林などの森林地域では、温暖化によって植生の展葉・落葉時期に変化が生じ、生長期間が長くなっている可能性が指摘できた。しかし、内蒙古自治区全体の植生変化においては、人為的な要因による植生増加が主体であることが示された。

## 引用文献

- 王静愛, 史培軍. 1995: 内蒙古における自然地帯の研究. *内蒙古師範大学学報(自然科学版)* 1:71-76.
- 馬世威, 馬玉明, 姚洪林, 王林和, 姚雲峰. 1998: *沙漠学*. フフホト市: 内蒙古人民出版社
- Zhou, H., J. Shen, Y. Jiang, and T. Li. 2002: Desertification Distribution, Dynamic and influence on the Ecological Environment in Western China. *Journal of Desert Research* 2, (in Chinese with English abstract).
- Bartholome, E., and A. S. Belward. 2005: GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth observation data. *International Journal of Remote Sensing* 26 (9):1959 - 1977.
- GlobalVegetationMonitoring (GVM) の web サイト.  
<http://www-tem.jrc.it/glc2000/defaultGLC2000.htm> [cited.
- Holben, B. N. 1986: Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing* 7 (11):1417 - 1434.
- Kallurib, M. E. J. S. N. V. 1994: The Pathfinder AVHRR land data set: An improved coarse resolution data set for terrestrial monitoring *International Journal of Remote Sensing* 15(17):3347-3363.
- NASA/GSFC の web サイト及び ftp サイト.  
(<http://daac.gsfc.nasa.gov/>), ([http://daac.gsfc.nasa.gov/CAMPAIGN\\_DOCS/LAND\\_BIO/GLB\\_DST\\_Data.html](http://daac.gsfc.nasa.gov/CAMPAIGN_DOCS/LAND_BIO/GLB_DST_Data.html)), ([ftp://daac.gsfc.nasa.gov/data/avhrr/global\\_8km/](ftp://daac.gsfc.nasa.gov/data/avhrr/global_8km/)) [cited.
- 建石隆太郎, 黄少博, 石山隆. 2001: 全アジアの環境変動地域の抽出のための時系列衛星データによる土地被覆変化の検出. In *科学研究補助金データベース: 千葉大学環境リモートセンシング研究センター*, 1-73.
- Tateishi, R. 2001: Trend and Challenges of Global Land Use/Land Cover Mapping from Space. In *International Symposium on LUCC Contribution to Asian Environmental Problems*. Tokyo, Japan.
- Idris, H. M., K. Koichiro, and S. Masakazu. 2005: Evaluating vegetation recovery following large-scale forest fires in Borneo and northeastern China using multi-temporal NOAA/AVHRR images. *Journal of Forest Research* 10 (2):101-111.
- Ma, M. G., Dong, L.X., and Wang, X.M. 2003: Study on the dynamically monitoring and simulating the vegetation cover in northwest China in the past 21 years. . *Journal of Glaciology and Geocryology* 25(2): :232-236. (in Chinese with English abstract).
- 竹内渉. 2003: 衛星データを用いた正規化植生・土壌・水指数の開発. *平成 15 年写真測量学*

- 会年次学術講演会発表論文集:209-212.
- Wang, J., Ji, L.Z., Marina, Khomutova. 2007: Relationships between forest insect pest occurrence area and meteorological factors in Great Xing'an Mountains of Heilongjiang Province, Northeast China. *Chinese Journal of Ecology* 26(5):673-677, (in Chinese with English abstract).
- 吉良竜. 2001: 森林の環境・森林と環境—地球環境問題へのアプローチ: 新思索社.
- 内蒙古自治区地図制印院. 2006: 内蒙古自治区地図冊: 中国地図出版社.
- 内蒙古自治区統計局. 1989-2000: 内蒙古統計年鑑. フフホト市: 中国統計出版社.
- 人民政府弁. 2000: 内蒙古年鑑 1999—2000. 内蒙古自治区人民政府弁: 方志出版社.
- 李博. 1990: 内蒙古鄂爾多斯高原自然資源と環境研究. 内蒙古草原資源リモセン応用考察隊.
- 「伊金霍洛旗志」編集委員会. 1997: 伊金霍洛旗志: 内蒙古人民出版社.
- 趙燁, 史培軍. 1988: 内蒙古オルドス高原における土地被覆及び新世紀以来の変遷過程. 北京師範大学学報 (自然科学版) 1:85-93. in Chinese with English abstract.
- 額尔德尼, 方亮. 2000: 伊金霍洛旗生態環境建設項目 2000 年度实施方案. 内蒙古農業大学卒業論文集:1-19.
- 国家林業局. 2008: 中国林業与生態建設状況公報: 国家林業局.
- Borjigin, H. 2008: 持続可能な環境保護の原点とは—エジンホロ旗の環境保護を事例に一. 沙漠誌ノート 5:11-18.
- 小長谷有紀, シンジルト, 中尾正義. 2005: 中国の環境政策生態移民—緑の大地, 内モンゴルの砂漠化を防げるか?: 昭和堂.
- 王根緒, 程国棟, 沈永平. 2002: 近 50 年来河西走廊区域生態環境変化特征与綜合防治对策. 自然資源学報 17(1):78-86.
- Liu, Z. L., Zhu, Z.Y. and Hao, D.Y. 2001: The study of oasis ecosystem damage and conservation in the lower reaches of Black River (Erginar River). , . *Journal of Arid Land Resources and Environment* 15(3):1-7. (in Chinese with English abstract).
- Taogerile. 2002: Research on rehabilitation and protection of ALXA saccsaoul forest. *Inner Mongolia Environmental Protection* 14(4):24-26. (in Chinese with English abstract).
- 曹春香, 中根周歩, 妹尾俊夫. 2000: NOAA/AVHRR データによる中国大興安嶺森林大火災跡地の植生の回復診断. 日本生態学会誌 50:1-11.
- Kong, F. H., Li, X.Z. and Yin, H.W. . 2004: Landscape change on burned blanks in Daxing'an Mountains. *Journal of Forestry Research* 15(1): :33-38. (in Chinese with English abstract).
- Chen, X., R. Tateishi, and C. Wang. 1999: Development of a 1-km landcover dataset of China using AVHRR data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54 (5-6):305-316.

- Li, X., and P. Shi. 1999: Research on Regulation of NDVI Change of Chinese Primary Vegetation Types Based on NOAA/AVHRR Data. *ACTA BOTANICA SINICA* 3, (in Chinese with English abstract).
- Tateishi, R., and M. Ebata. 2004: Analysis of phenological change patterns using 1982-2000 Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) data. *International Journal of Remote Sensing* 25 (12):2287 - 2300.
- Huang, S., and F. Siegert. 2006: Land cover classification optimized to detect areas at risk of desertification in North China based on SPOT VEGETATION imagery. *Journal of Arid Environments* 67 (2):308-327.
- R. B. Myneni, C. D. K., C. J. Tucker, G. Asrar & R. R. Nemani. 1997: Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature* 386(6626).
- Dai, J. G., Guo, W.Q. and Yang, T.B. 2006: An analysis of grassland change and human factor function in headwater region of Yellow River based on NOAA-AVHRR data. *Scientific and Technological Management of Land and Resources* 1:109-112. (in Chinese with English abstract).
- 増田佳孝, 春山成子, 近藤昭彦, 室岡瑞恵. 2006: 正規化植生指標 (NDVI)を用いたアムール川流域の土地被覆変化の把握. *農村計画学会誌* 25:245-250.
- 張, 文. 2004: 中国 “三北” 保護林体系建設総体規画. *森林与人類* 1(3):13-14.
- Song, F., Ma, G.Q. 2004: New ideas on construction of the “Three north” shelterbelt system - About the planning for the forth phase of the “Three north” shelterbelt construction programme *Forest resources management*, 2(1):1-7. (in Chinese with English abstract).
- Chu, W. D. 2005: Discussion on ecological and economic benefits of the “Three north” shelterbelt system construction. *Forest resources management* 3(7):25-28. (in Chinese with English abstract).



## 第4章

# 異なる衛星データの利用及び近年における植生変化の把握

### 4.1 はじめに

1980年代から利用可能なグローバルスケールの衛星データを使った解析では、局部地域におけるNDVIの増減変動を捉えた研究報告が多くある。一方で、広域衛星データを用いた解析では植生シグナルの増加地点を抽出でき、地域研究と広域研究の間にパラドックスが存在するため、複眼的な解析が必要であると指摘される(長田甫, 近藤昭彦 2007)。本論では、異なる仕様の衛星データを使うことにより、データの特性及び植生変動の特性を複合的な視点から捉えることを試みる。

NOAA/AVHRR 及び SPOT/Vegetation などの相違あるデータセットを組み合わせ利用により(Tucker 2005) (Brown et al. 2006) (Elena Tarnavsky 2008), それぞれの異なる時系列での継続利用が可能になり、リモートセンシングデータの優越性(広域・長期間・均一性など)が適用できると考えられる。SPOT/Vegetation と Terra/MODIS から得られたデータ比較から2000~2005年のNDVIトレンド変化が両データにより相関性の高い結果が得られた(小柳智和 et al. 2008)。しかし、Terra/MODISのデータは2000年よりのデータ利用が可能であり、植生変動の長期観測としては時間スケールが短い方である。最近のデータと時間スケールの長いNOAA/AVHRRシリーズデータとの相互比較ができれば、1980年代から約30年間の時間スケールでの植生変動を解析可能となる。時系列NDVIデータの衛星センサーが異なると、得られる同一の指標データにおいても、センサーの違いにより、データの特性が異なると考えられる。その違いがあるか或いは解析手法を検討できれば、植生変動の長期観測も可能となる。植生変動の長期モニタリングは、草原の保全及び持続的な利用に有用な情報源となり(川村健介 et al. 2005), このような衛星観測情報から土地利用のモデル予測も可能とされ(五十嵐保 et al. 2009), 地球規模における生態変動の要因関係が明かされる課題である。そこで、本章においては異なる衛星センサー及び異なるデータ処理法を基に蓄積されているNOAA/AVHRR(GIMMS and PAL)データ及びSPOT/VGTデータを用いて対象地域の植生変動の特性を把握することを目標とする。

内蒙古自治区における2000年以降の植生変化が1990年代までの植生変化と同じ傾向が

継続しているか否かについて，NOAA/AVHRR(GIMMS and PAL)データとSPOT/Vegetationのデータセットを用いて，NDVIの変化を調べる。異なる衛星データを利用することで同一の対象地域において，同一の結果が得られるかを検証する。また，GIMMSデータと統計データとの相関比較を行い，2000年以降における土地利用変動が統計データに示されているかを検証する。

## 4.2 使用データと解析方法

### 4.2.1 使用データについて

本章では，表-4.1に示した3つのNDVIデータを利用する。NOAA/AVHRR(PAL)データセット(Kallurib 1994;Shabanov et al. 2002)は，本研究の第3章に用いたデータセットである。また，NOAA/AVHRR(GIMMS)データセット及びSPOT/VGTデータセットを用いる。第3章では，内蒙古各行政区における土地利用の統計データがその地域のNDVI変動と相関性があることを実証できた。本章では，AVHRR/GIMMSデータとの検証と2000年以降における土地利用変動の検証を行うため用いた。また，乾燥地においては植生変動が降水量との関係が大きいことが知られ，本章では気象変動の要素として参照データとして年降水量のデータを加えることにした。以下データセットの説明を記述する。

表-4.1 NDVI(Normalised Difference Vegetation Index)データセット及びその他のデータ利用

	NOAA/AVHRR PAL シリーズ	NOAA/AVHRR GIMMS シリーズ	SPOT/VGT	降水量 (GPCC)	統計 データ
データ期間	1982~1999	1982~2006	1999~2008	1951~2000	1989~2007
空間分解能	8km	8km	1km	1°×1°	県・市レベル
時間分解能	monthly	15 day and monthly	10days	年降水量	年統計
Red(channel 1)	0.58~0.68 (μm)	0.58~0.68 (μm)	0.61~0.68 (μm)	—	—
NIR(channel 2)	0.725~1.10 (μm)	0.725~1.10 (μm)	0.78~0.89 (μm)	—	—

### NOAA/AVHRR(GIMMS)データセット

本データセットは，全球をカバーするGlobal Inventory Modeling and Mapping Studies(GIMMS)データセット(1982~2006の25年分) 気象観測衛星 NOAA 7, 9, 11, 14, 16, 17号搭載の AVHRR から構築されたNDVI(植生指標)のデータセット(Brown et al. 2006)を公開されているオンラインftpサイト(NOAA/AVHRR(GIMMS)シリーズデータ))より入手した。このデータセットは，雲の影響を最小限にするために，Maximum Value Composite(MVC)コンポジット処理法(Holben 1986)によりピクセル毎に毎日のデータから最大のNDVIを選び

出したものであり、15day及び月データとして公開されている。本研究で用いるデータは1982～2006年の月データで、データの地上分解能は約8kmである。AVHRR/NDVIデータはAVHRRセンサーにおけるチャンネル1と2を利用し、 $(\text{channel 2} - \text{channel 1}) / (\text{channel 2} + \text{channel 1})$  からNDVIデータに変換される(Tucker 1979) (Kidwell 1998; Young, Harris 2005)。GIMMSデータセットでは-1000～1000の整数値で格納されているため、変換式  $(\text{NDVI} = \text{float}(\text{raw}/1000))$  により、NDVIに換算した値(-1 to 1)を用いる。GIMMS/NDVIデータセットは、上述のMVCコンポジット処理法を用いることにより、特に持続的な雲量による影響を減らし、PALデータセットより改善されている。また、大気のエアロゾルの影響（例えばピナツボ山の噴火の期間1991年7月～9月による影響）を減らした。また、1994年の後期及び2000年の期間においては、欠測期間があり、データ修正をしたものである。

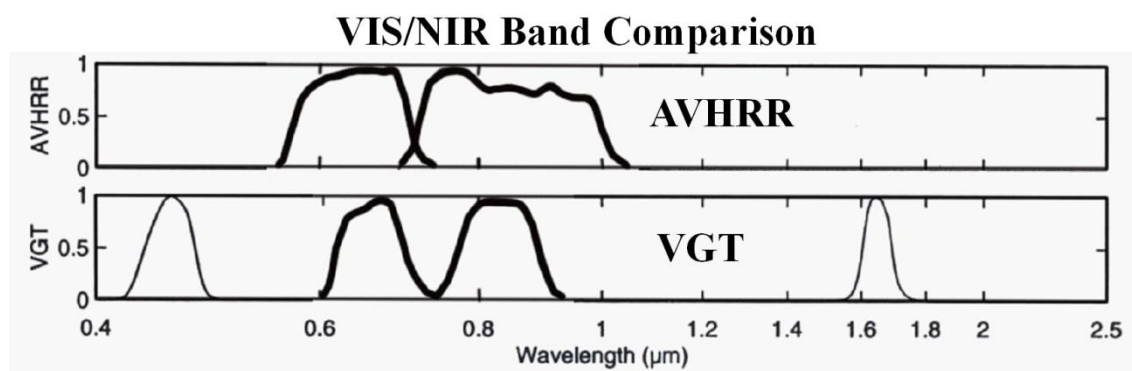


図-4.1 AVHRR センサー及び SPOT センサーのバンド比較

(Tucker et al. 2005) (Tarnavsky et al. 2008)

データセットの相違について、表-4.1 及び図-4.1 に示した通りに各衛星のセンサーのバンドの範囲が異なる以外にデータの格納及びその処理法が異なる。NOAA/AVHRR センサーにより取得されるデータは低解像度である一方、時系列期間が最も長く蓄積されているため、多くの分野で利用されている(表-4.1)。しかし、低解像度のデータとして土地利用の把握に適用できないという指摘もあり、AVHRR センサーの精度について議論されてきた。Quarmby ら(1992)は、AVHRR データを用いて  $60 \times 60 \text{ km}$  の広域内の作物面積比を推定した結果、推定誤差範囲は-51～-4%とばらつきが大きいものの、平均して 89%の精度で推定できた。第3章では、農作物(耕地)面積及び造林面積の統計資料に基づく土地利用の面積増加割合を AVHRR/PAL データによる植生増加面積割合と比較した結果、両データが強い相関性 ( $R^2=0.86$ ) が示された(額尔德尼 et al. 2009)。このような検証結果から衛星リモートセンシングデータ手法を用いることによって土地利用の変動を把握する重要な知見を得た。

#### SPOT Vegetation(VGT)データセット

本データセットが公開されているサイト(SPOT/VGT(NDVI データ公開サイト))より Southeast Asia(SEAsia)範囲のデータをダウンロードし、データ補正を行った。得られた 10 日

間合成 SPOT Vegetation データより画像(シーン)ごとの時系列変動モデルを用いた衛星データ処理手法 LMF (Local Maximum Fitting:局所最大値フィッティング法) (Yukio,Wataru 2004)を用いて、最大値補正を行った。これにより 10 日間データから月データに変換し、更に Harmonic Analysis によってデータの再構築を行い、雲やノイズの影響を取り除いたデータ作成を行った。また、NOAA データセットとの比較検証を行うため、空間分解能を 1km から 8km に変換する。SPOT-VGT のデータに用いる NDVI 変換式は  $NDVI=(DN \times 0.004) - 0.1$  とする。元データの DN(digital number)は、3~255 で格納されている(SongYi, MaMingGuo 2007;Liu et al. 2009)。

衛星データ解析ソフトウェア TNT/Mips V.7.0 を利用し、上述した処理フローに基づき、TNT/Mips ウェブサイト(オープン GIS)により公開されている局所最大値補正 SML を入手し、データ処理を行った。

### GPCC 年降水量のデータ

Global Precipitation Climatology Centre (GPCC) により公開されている 1951~2000 年の約 50 年間に亘る年降水量のデータセットは、約 5 万以上の地上観測気象ステーションのデータに基づき、空間分解能が(1°×1°)であるグローバルデータセットである(U. Schneider 2008)。本論にこのデータを用いたのは、対象地における気象情報として有意な情報である考えたからである。乾燥・半乾燥気候帯である内蒙古において、長期間に亘って降水量の変動があるかを考察し、干ばつなどの影響があるかを検討した。

### 4.2.2 データ解析手法について

#### 手法 1: 植生増加, 減少地域の抽出

NDVI 時系列データに基づき各年の年最大値 ( $NDVI_{max}$ ) を求め、以下に示す 2 期間の  $NDVI_{max}$  差分を求める解析手法によって、植生変化の正負変動の地域を抽出する。

$$\Delta NDVI = (\text{mean}(NDVI(t_2)) - \text{mean}(NDVI(t_1))) \quad \dots (4.1)$$

式 (4.1) に示す  $t_1, t_2 \dots$  は全期間における期間分けを指す。本章では 1982~1986, 1989~1993, 1995~1999, 2002~2006 と 5 年ずつの期間分けを行い、各期間の  $NDVI_{max}$  から平均 NDVI を上式によって  $\Delta NDVI$  を求める(蒲生稔・篠田雅人. 1999; Ryutaro 2001)。

#### 手法 2: 植生変化面積検討に用いる集計法

前章と異なる NDVI シリーズデータを用いることによって、NDVI データから植生変動の増減を求める手法としては、前章と同様に  $\Delta NDVI$  の検討を行い、 $\Delta NDVI$  に閾値を設け、 $\Delta NDVI$  の正負変動の面積率から植生変動の面積率を推定する。よって、本章に用いる集計法は第 3 章に記述した「植生変化面積検討に用いる集計法」と同様であるため、ここでは省略する。

**手法 3: NDVI 増加面積と統計データによる増加面積の対比**

衛星データ及び統計データの相関関係については、多くの研究では相関が低いことが示されている。特に中国広域を対象とした研究では、この関係が低いとされる。一方で、本研究における対象地区においては、前章に示した PAL データと統計データの相関関係が明らかとなり、内蒙古全域においては相関関係が高いことが示された。このような結果が得られたのは、統計データの項目内容にも関係するが、地域や統計時期とも関係することが分かった。この関係が明らかになれば、その地域の土地利用変動を示唆できる有用な知見が得られると考える。統計データの背景には、国や県における土地利用の統計調査は多くの人及び機関を通じる過程で、集計ミスや集計時間の遅れ及び偽装データ作成なども考えられる。一方で、衛星データは同一のセンサーを用いることで地球観測は同一の基準であると考えられるが、衛星軌道の角度により広域でのデータ偏差及び気象条件等が要因となり、雲などのノイズが入り、その除去処理が必要とされる。本論では、衛星データセットにより品質に影響する様々な要因については議論せず、一般的に用いられるデータ及び処理手法を使い、その結果を示唆する。

**手法 4: 異なる NDVI 衛星データ間の NDVI 変化の特性比較**

南米を対象に NOAA/AVHRR(PAL/GIMMS/FASIR(Fourier-Adjustment, Solar zenith angle corrected, Interpolated Reconstructed))NDVI 時系列データを用いた研究(Germán Baldi 2008)では、PAL シリーズ及び GIMMS シリーズとの相違性と実用性が検証された。本論では、PAL/GIMMS/SPOT の NDVI 時系列データを用いた検討を行い(表-4.2 に示す)、NDVI データの継続的な利用可能性を検証し、2000 年代初期における植生変動の分布特性の比較を行い、異なるデータ利用による解析結果を検証する。

**表-4.2 対比する 3 つの衛星データの期間**

1982~1993 年	1982~1999 年	1999~2006
PAL vs. GIMMS	PAL vs. GIMMS	GIMMS vs. SPOT

#### 手法4: 統計データ及びNDVIデータ解析の対比

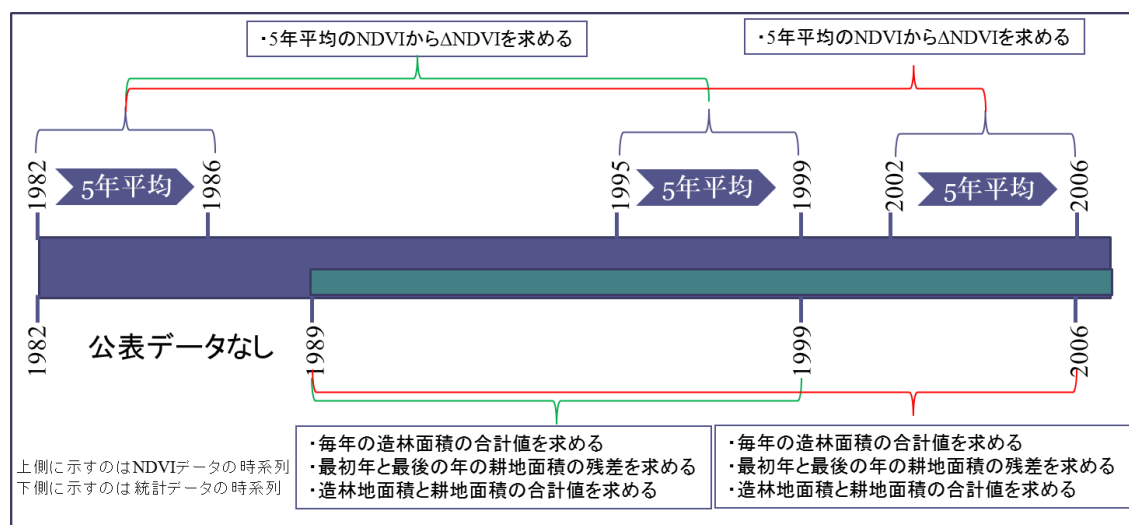


図-4.2 NDVIデータ及び統計データの解析模式図

図-4.2に示したのは、行政区毎の統計データ及びその地区における $\Delta\text{NDVI}$ に基づく植生変動の対比を行う時系列データ解析の求め方である。横軸の上部に示すのは、NDVIデータの解析プロセスであり、下部に示すのは統計データの解析プロセスである。上部に示すNDVIの時系列期間は1982~2006年の25年間に對して、下部に示す統計データの時系列期間は1989~2006年の18年間である。NDVIデータ期間は5年間の4期間（1982~1986, 1989~1993, 1995~1999, 2002~2006）に分け、各期間におけるNDVI平均値による差分（ $\Delta\text{NDVI}$ ）を求める。各期間におけるNDVI平均値は、各年度のNDVI最大値から各期間の平均値を取る。そして、各期間におけるNDVI差分（ $\Delta\text{NDVI}$ ）は正の0.05を閾値として、各地において0.05より大きくなる面積統計を行い、それを統計データとの対比面積率として相関比較を行う。これに對して、統計データ期間は、1989, 1993, 1999, 2006年の4年度の統計データの差分を求める。各年度の統計面積率は、上記の4年度における統計数値（造林面積の積算と耕地面積の差分の和）に基づき、その差分から各行政区の面積率としてNDVIデータとの相関比較を行う。統計年鑑では、各地における造林や耕地面積の統計データを同一に示しているのではなく、造林面積においては各年度の造林面積（新規造林面積）を示し、その年にいくらの造林面積が存在するかが統計されてない。そのためであろう、毎年造林されたようにその実績報告になるが、植林・植草して実際にいくら育ったのかが公表されてないため、ここでは、各年度の造林面積の積算からその年に存在する造林面積を推測する。一方で、耕地面積の統計数値は、各年度に存在する耕地面積として統計されているため、直接その差分から耕地面積の変化値として扱われる。

### 4.3 結果及び考察

#### 4.3.1 選定地域における NDVI の値 (PAL データとの対比)

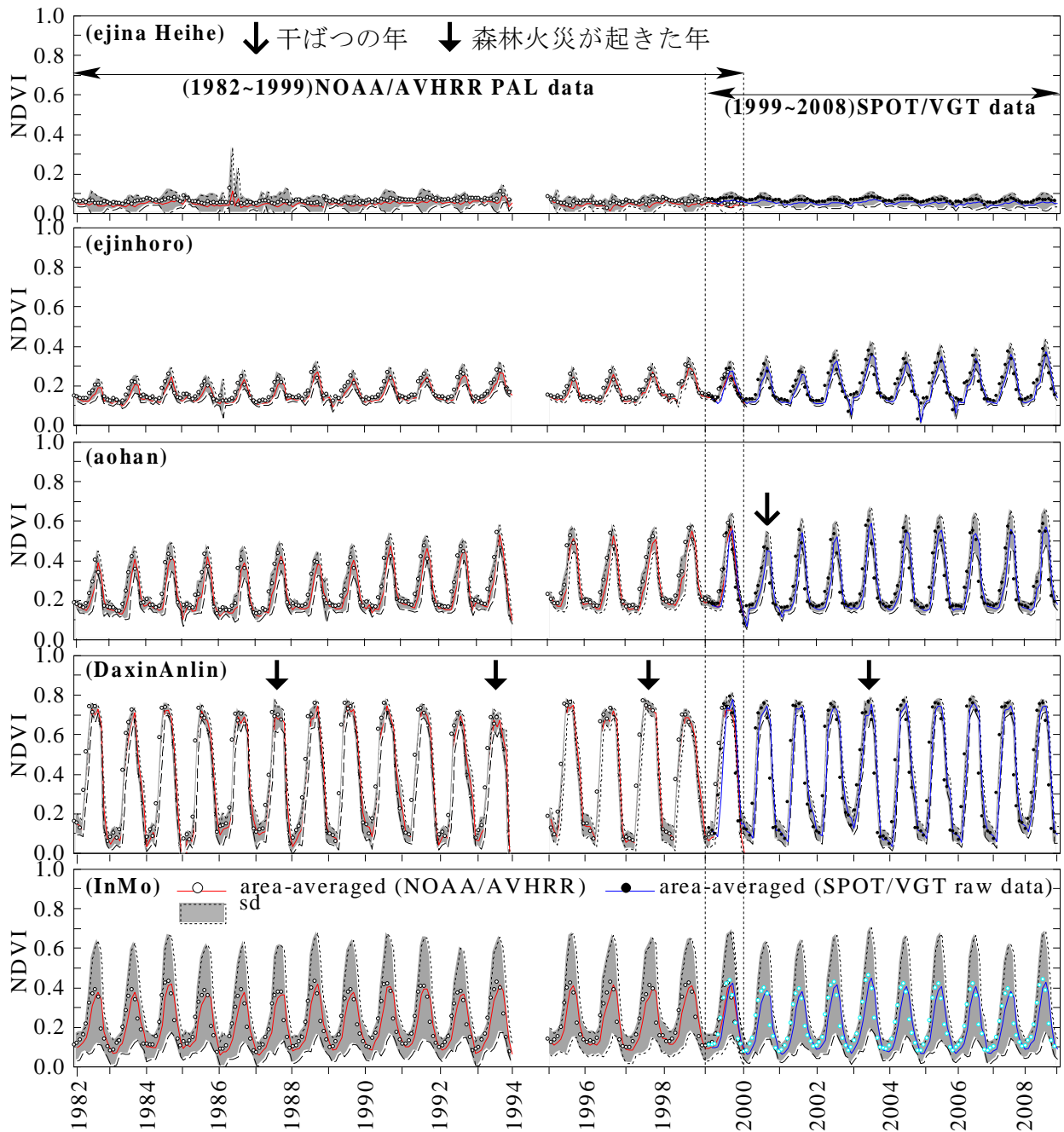


図-4.3 4 地区における PAL/NDVI の 1982~1999 年(1994 年を除く)と SPOT/NDVI の 1999~2008 年 NDVI 経年変化

(ejina Heihe)エジナ旗黒河下流域, (ejinhoro)エジンホロ旗, (aohan)敖漢旗, (DaxinAnlin)黒龍江省大興安嶺地区, (InMo)内蒙古全域



図-4.3 は、第3章に NDVI 検証として実地情報が多く、土地利用変化が顕著な4地域(図-4.3 中: エジナ旗下流域(ejina Heihe), エジンホロ旗(ejinhor), 敖漢旗(aohan), 大興安嶺地区(DaxinAnlin))を選定し、4地域における植生変化を NDVI に基づき検証を行った結果、4地域の1982~1999年における土地利用変化が PAL データの NDVI の経年変化及び季節変動と高い相関性があると実証できた(額尔德尼 et al. 2009)。また、図-4.3 中に内蒙古全域(InMo)における NDVI の平均値の経年変動を示し、内蒙古全域に対する4地域の NDVI 対比から4地区における NDVI の経年変動の特徴がみられる。本章においては、SPOT/VGT データを加えた検証を行うため、上記の4地域における NDVI の経年変化を示した。PAL/NDVI の1982~1999年(1994年を除く)と SPOT/NDVI の1999~2008年 NDVI 経年変化から両データの重なる期間は1999年であり、図-4.3 に示した。図-4.4 では、同様に GIMMS データと SPOT/VGT データを用いた図である。

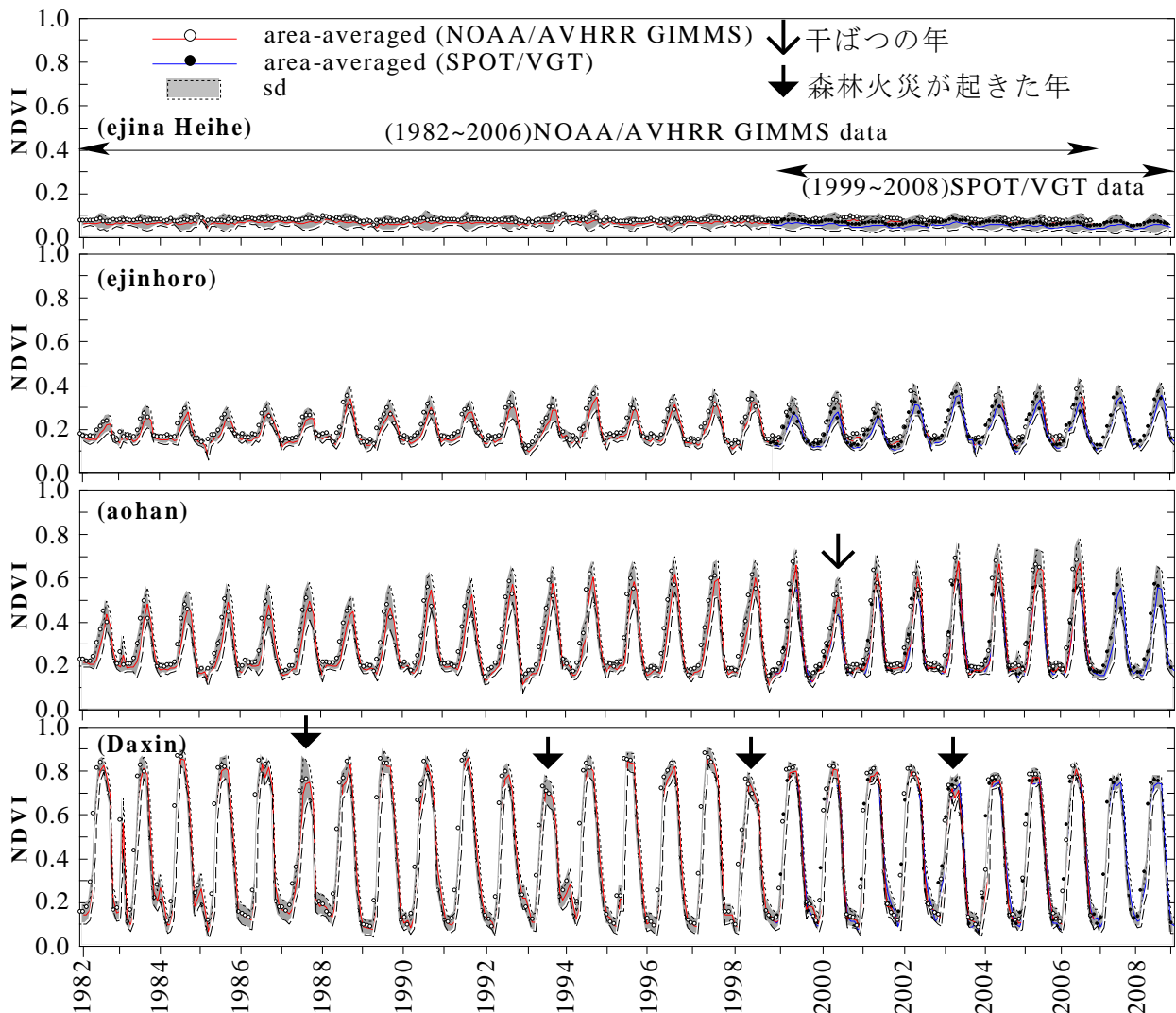


図-4.4 4地区における GIMMS/NDVI の1982~2006年と SPOT/NDVI の1999~2008年の経年変化

(ejina Heihe)エジナ旗黒河下流域, (ejinhor)エジンホロ旗, (aohan)敖漢旗, (Daxin)黒龍江省大興安嶺地区



図-4.3 と図 4.4 の両図に示したように4地域におけるNDVIの経年変化をPALデータ及びGIMMSデータとSPOT/VGTデータを用いた結果、4地域のNDVIデータの重なる期間において、NDVIのトレンドが高い一致性があることが確認できる。4地域の土地利用の特性とも一致したトレンドの変化であると推測できる。また、大興安嶺地区における大規模な森林火災時のNDVI低下トレンド（矢印で示す）や干ばつなどの影響を受けた際に、NDVIのトレンドが気象条件及び土地利用変動に伴った変動をしていると考え、NDVIデータのクオリティーを示唆できる。

### 4.3.2 選定地域におけるNDVIの季節変化（PALデータとの対比）

第3章でNDVIの季節変動を検討し、その経年変化を示した結果、対象地区におけるNDVI最大値は7,8,9月の期間に達するものの、気象条件などの影響を受け年々変動が生じることが分かった(額尔德尼 et al. 2009)。また、NDVIと降水量とは相関関係が大きく、降水量の増大に伴ってNDVI値が大きくなるという相関関係から、降水量が植生の生長及び植生の被覆度合いを決める重要な要素であると推測できる。特に、モンゴルなどの乾燥地域においてはNDVIと降水量の相関関係が（Forest steppeでは29%、Steppeでは40%、Desert steppeでは67%）高くなる傾向があり(山崎博之・新居知己, 2004)、NDVIの季節変動も年降水量の変動によって変動する可能性があることと示唆できる。また、気温とNDVIは有意な負の相関であるとされる。日本においては、NDVIと降水量の相関性が低いことが示唆されている(石原光則 2003)。ここでは、4地区における降水量の変化を示すためにGlobal Precipitation Climatology Centre (GPCC) に公開される(U. Schneider 2008)過去50年間の年降水量の変動解析を行った結果を示した。図-4.5では4地区の1951~2000年までの年降水量の変動から各地における年降水量の年々変動が大きいことが分かる。内蒙古西部に当たるエジンホロ旗の年降水量の経年変動は1950年代より減少傾向であると見てとられる。GPCCのデータを利用して、中国広域において1980年代から2000年代までの年降水量の変化を解析した結果（図-4.5）、中国の中部及び東北部においては、年降水量の減少傾向であり、西部及びモンゴルの南部と揚子江の下流域においては年降水量の増加傾向性が示された。特に、中国の南部及び東部においては豪雨の増加傾向性が高い(Nobuhiko et al. 2007)。図-4.4に矢印で示してある2000年の干ばつ年及び大興安嶺地区における大規模な森林火災の1987年・1993年・1998年である。大興安嶺地区における大規模な森林火災は約5年おきに1回発生している。森林火災が起きる前年までには、大体年降水量が減り続けている状態であり、それにより乾燥した森林に火災発生による拡大が生じている要因であると考察できる。

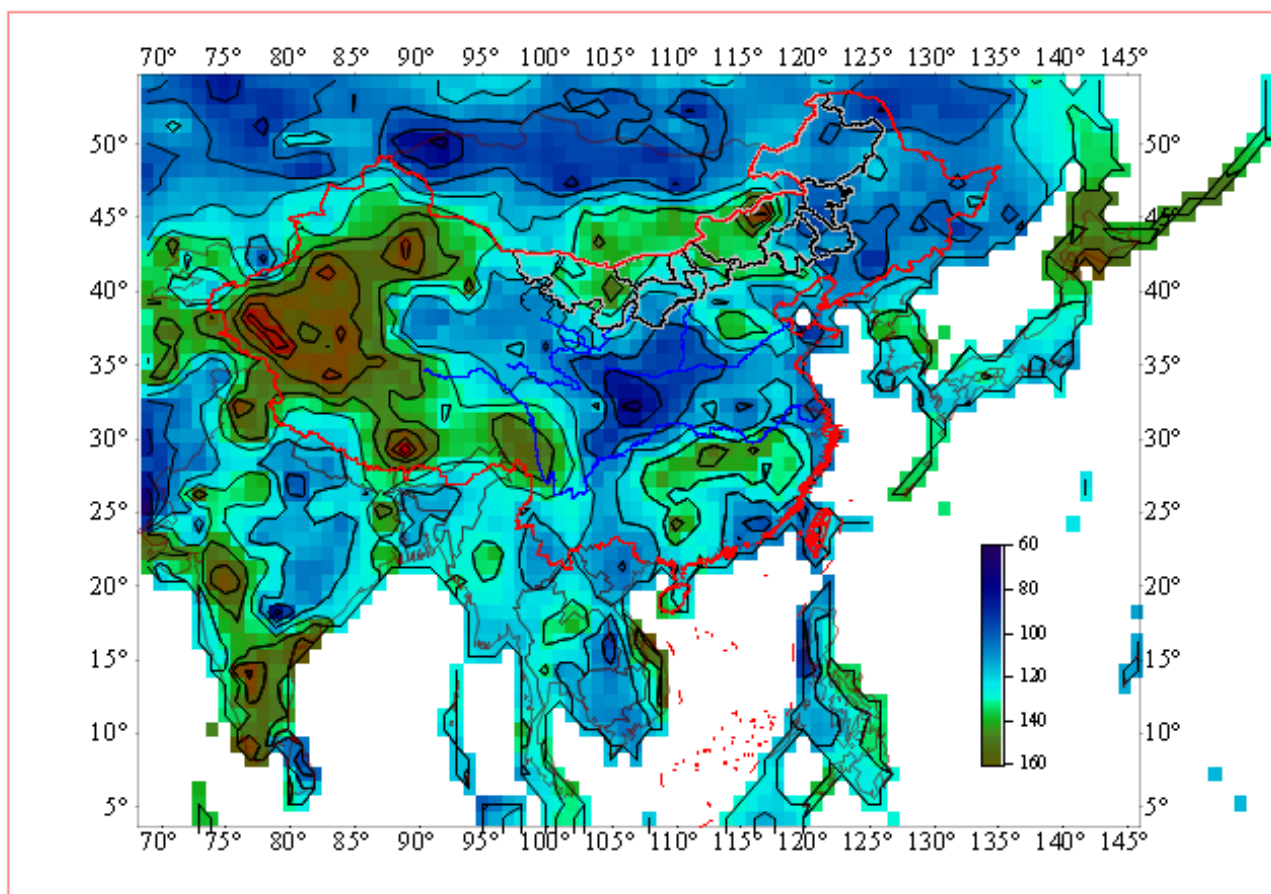


図-4.5 内モンゴを含むアジア全域における 1982~1999 年の年降水量の変動傾向

1951~2000 年の 50 年間の降水量データを基に NDVI 期間と同様な期間（1982~1999 年）における降水量の変化を示した。図-4.5 に示したのは前期の 5 年間(1982~1986)に対する後期 5 年間(1995~1999)の降水量パーセント比である。緑から赤色は正の変動を示し、水色から青色は負の変動を示す。

また、この 50 年間の降水量のデータを用いて選定検証を行った 4 地域及び内モンゴ全域における年降水量の時系列変化を示したのは図-4.6 である。

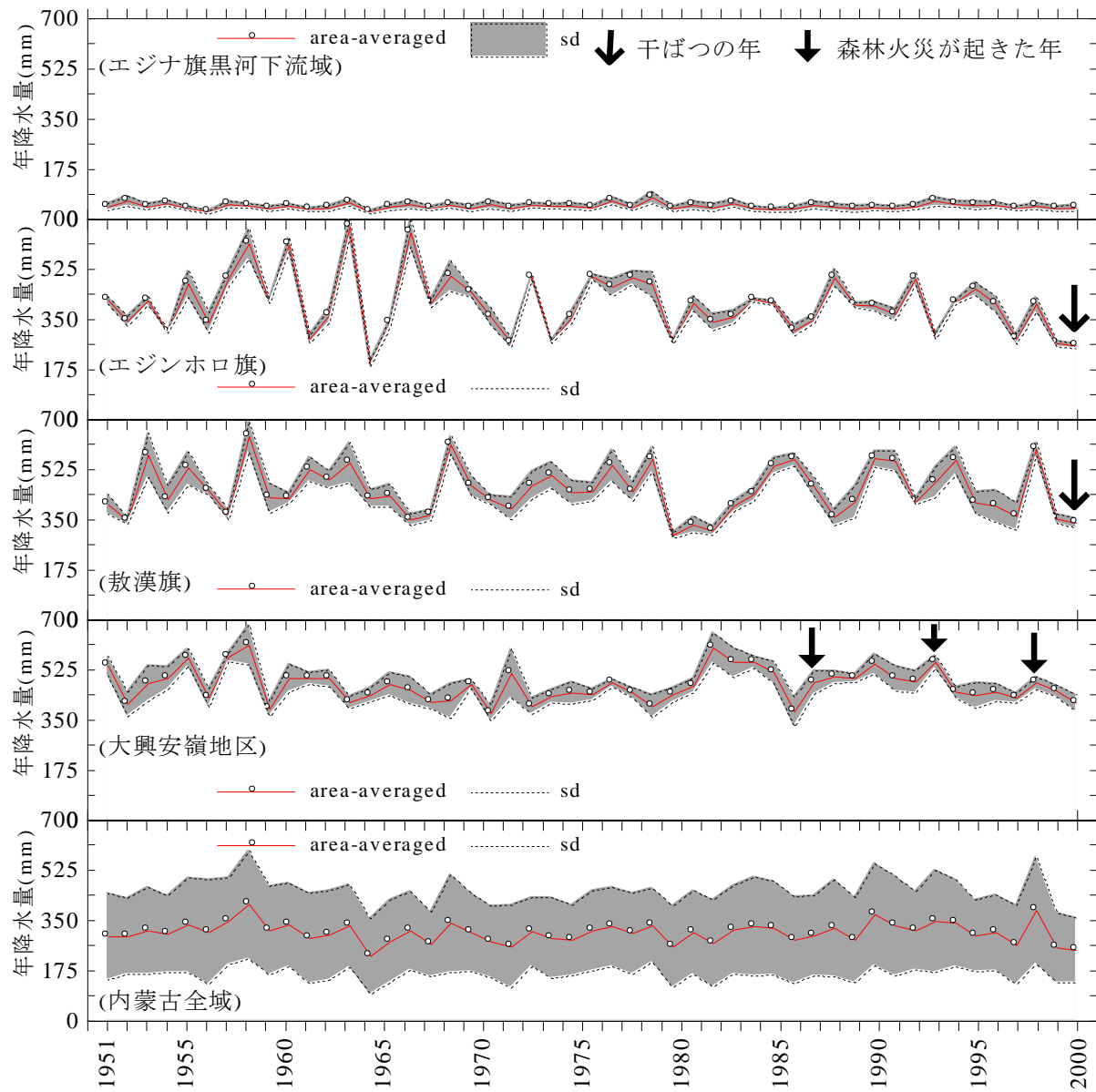


図-4.6 4地区及び内蒙古全域における1951~2000年の年降水量の経年変化

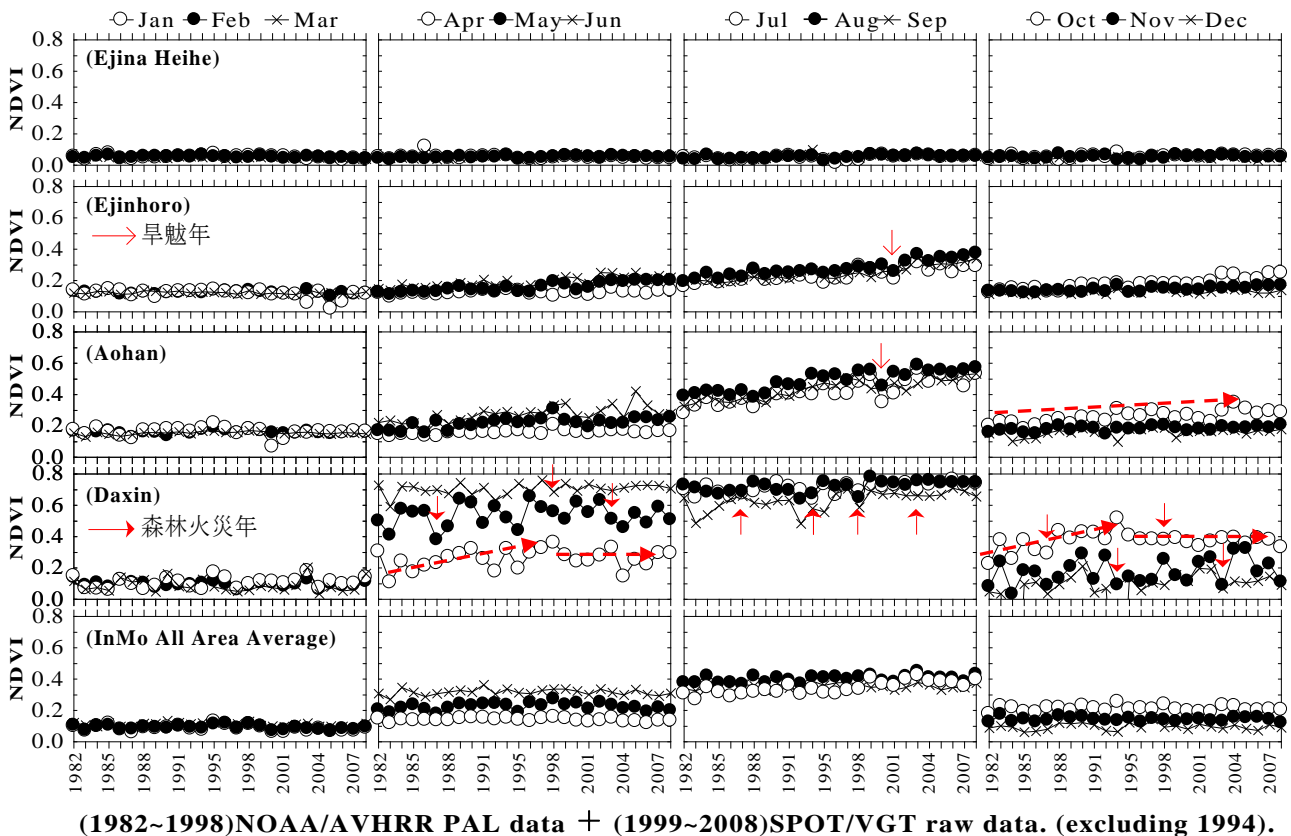


図-4.7 4地区及び内蒙古全域における月別の GIMMS/NDVI 平均値の経年変化

(Ejina Heihe)エジナ旗黒河下流域, (Ejinhoro)エジンホロ旗, (Aohan)敖漢旗, (Daxin)黒龍江省大興安嶺地区, (InMo)内蒙古全域

4地域(エジナ旗黒河下流域, エジンホロ旗, 敖漢旗, 大興安嶺林地区)及び内蒙古全域における年降水量の時系列変化からどの地区においても年々変動が大きいことが見て取れる。4地区の比較からエジナ旗黒河流域を除けば年降水量が大よそ 300mm~500mm 程度であり, 内蒙古全域の平均に比べれば大興安嶺林地区及び敖漢旗では年降水量が高い方が分かる。また, 図中に示す矢印は干ばつや割と大規模な森林火災が起きた年を示し, 図-4.3 と図-4.4 に示した NDVI の時系列変化と対応関係があるかを考察する必要がある。

第3章において, 大興安嶺林地区(Daxin)における季節毎の経年変動を考察した結果, 4月と10月の NDVI 季節毎の経年変動が示され, 温暖化の影響による植生の活性化が生じている可能性を示唆した(額尔德尼 et al. 2009)。大吉らの研究では, 北東アジアにおける土地被覆毎の季節性と気温・降水との相関関係から, 北東アジアにおいては, サバンナや混交林の植物季節性が気温と負の相関が高いことが明らかにされた。つまり, 気温が高ければ高いほど, これらの土地被覆では植物が最も成長する時期が早期化する傾向であると指摘する(大吉慶, 竹内渉, 安岡善文 2004) (安岡善文 2006)。

図-4.7 では, PAL データ(1982~1998)及び SPOT/VGT データ(1999~2008)により上記の4地

区における NDVI の季節毎の経年変動を示した。エジンホロ旗及び敖漢旗における NDVI トレンドの増加傾向は SPOT/VGT データ期間においても、継続的な増加傾向が見られた。また、エジナ旗黒河下流域における低 NDVI トレンド及び大興安嶺地区における高 NDVI トレンドの継続性も見られる。

また、図-4.6 及び図-4.7 中に矢印で示した年においては干ばつや森林火災が起きた年であり、図-4.7 に示した NDVI の時系列トレンドには上記の気象影響があると考えられ、NDVI の値例年に比べて低いトレンドを表わす。干ばつがあった 2000 年では、特に夏期間の NDVI が低下を示す。エジンホロ旗においては 2001 年に NDVI 低下が見られたが、2000 年干ばつの影響であるかは一概に言えない。一方で、割と大規模な森林火災が報告された 1987 年、1993 年、1998 年、2003 年においては、大興安嶺林地区における NDVI のトレンドには矢印で示す森林火災の年には NDVI 低下も見られ、森林火災の影響が生じていると考えられる。このような NDVI トレンド変化に基づいて森林火災による森林消失面積を推測する研究事例もあり (Husni et al. 2005)、今後も継続的な利用が期待される。

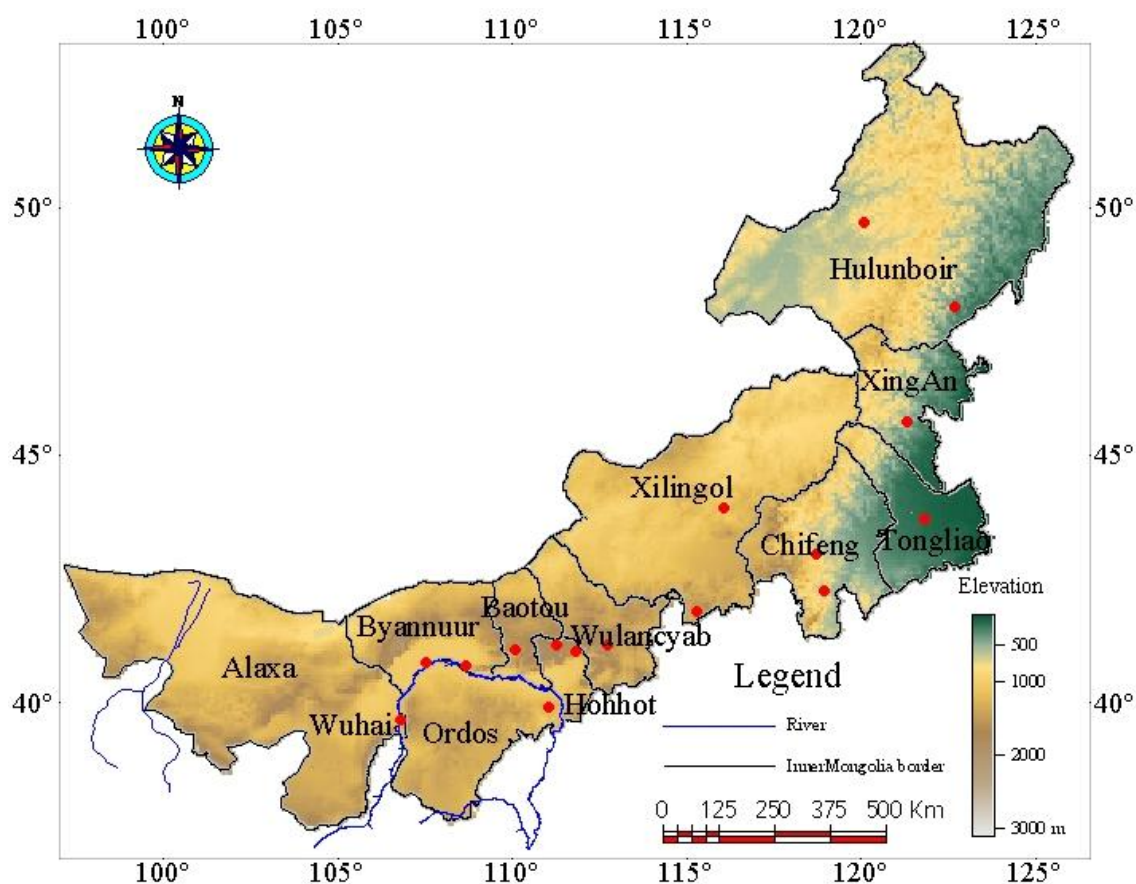


図-4.8 Wue et al. 2009 の研究に用いた観測地点の分布図  
(Wue et al. 2009 に基づいて作成)

温暖化による樹木の開花日の早期化及び落葉期間が延期する植物の活性化について、呉

らの研究から明らかにされている(WuRuiFen 2009)。呉らの研究では、小白楊 (*Populus tom entosa*) の開花及び落葉期間に対して、地上 17 の観測地点におけるデータ整理を行った結果、1982~2006 年における開花日の早期化と落葉期間の延期化が実証された。図-4.8 に調べられた観測地点の分布を示す。この分布から、中国北部において広域に亘って温暖化の影響を受け、植物の活性化が進行していることが示唆できる。図-4.7 に示されたように大興安嶺林地区(Daxin)における NDVI の季節毎の経年変動から夏季のトレンド変化に比較して、春季の 4 月と秋季の 10 月の NDVI トレンド変化が顕著な上昇傾向である。呉らの研究を踏まえてみれば、このようなトレンド変動が森林の展葉期間と落葉期間が延びている可能性を指摘できる。

大興安嶺林地区においては、4 月及び 10 月の NDVI 時系列変動から 1980 年代から 1990 年代後期までには、NDVI の増加傾向性が強いことを読み取る。1990 年代後期から 2000 年代において、季節毎の経年変動性が安定的な変動をしていると判断する。5 月と 11 月の NDVI 変動が最もジグザグのある変動を示す。生態修復の成功を収めたとされるエジンホロ旗及び敖漢旗における NDVI のトレンド変化を第 3 章でも検証してきた。その変動の継続性があるかを確かめるためにここでは SPOT/VGT の NDVI を加えた結果、夏季の NDVI 時系列変動が顕著であり、増加し続ける傾向が見られた。また、図-4.7 からエジンホロ旗及び敖漢旗の夏季の NDVI 上昇に伴い、春季となる 5-6 月及び秋季の 10 月 NDVI トレンドにも上昇傾向が見られた。この両地域における春季及び秋季の NDVI 上昇傾向は、植被率の増加に伴う植生季節性によるトレンド変化であると推測する。



### 4.3.3 NOAA/AVHRR PAL データセットと GIMMS データセットとの対比

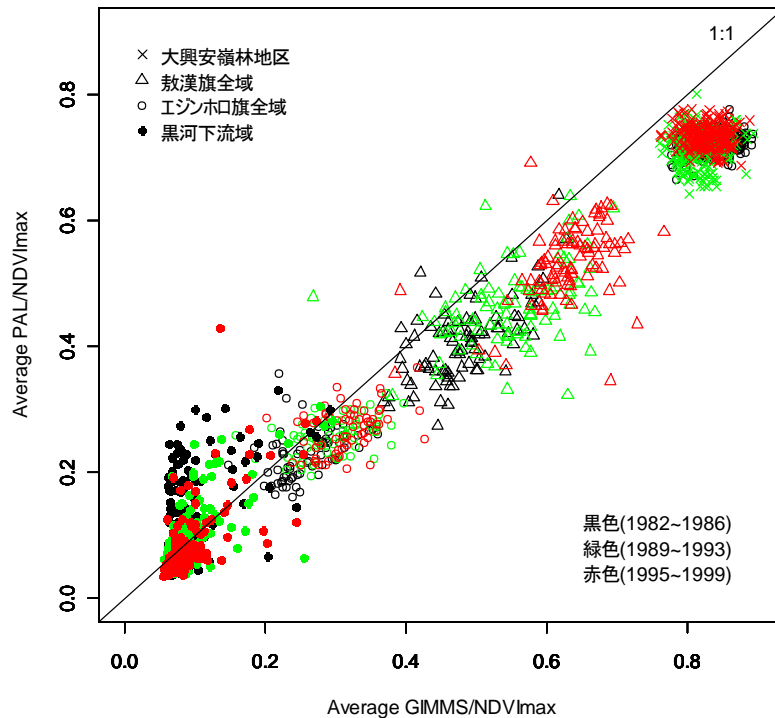


図-4.9 4 地区における GIMMS/NDVI vs. PAL/NDVI の 3 期間の NDVI<sub>max</sub> 平均値の比較

節 4.3 では、選定した 4 地区及び内蒙古全域の NDVI 時系列変化を 1982~2008 年までの月毎の NDVI から 27 年のトレンド解析を行った結果、それぞれの地域における土地利用のトレンド傾向が示された。また、異なる衛星センサー及び異なる手法による構築された NOAA/AVHRR PAL データセット及び NOAA/AVHRR GIMMS データセットと SPOT/VEGETATION データセットを利用した結果、重なる期間においては NDVI のトレンドが高い一貫性を持つことが示された。

PAL 及び GIMMS シリーズの相違を節 4.2 に示してあるようにデータのコンポジット手法の相違があるため、われわれはここで更にピクセル単位での対比を行ったのは図-4.9 である。図-4.9 では、PAL/GIMMS データに基づき 4 地区における NDVI<sub>max</sub> の対比を示した。NDVI<sub>max</sub> の比較期間は黒色で示す(1982~1993)と緑色(1989~1993)と赤色(1995~1999)の 3 期間の年最大値の NDVI<sub>max</sub> の 5 年平均の PAL と GIMMS の対比をした。その結果、各マークで示したよう 4 地区の分布が異なることが分かる。X 軸の GIMMS/NDVI 対して Y 軸で示す PAL/NDVI の対比からデータのプロットが 1:1 線より GIMMS (X 軸) 側に傾きがあると見てとれる。つまり、同じピクセルに対して GIMMS/NDVI が PAL/NDVI より値が大きいことが分かる。しかも、X 軸の値が大きくなるに従って GIMMS/NDVI が PAL/NDVI より大きく

なるという傾向が示された。

また、4 地区それぞれのピクセル分布から以下に示す地域性が見られる。

まず、大興安嶺林地区においては 3 つの NDVI 期間で示す 3 色の×マークのプロットがほぼ重なる状態であることが分かる。つまり、大興安嶺林地区においては 1980 年初期から 1990 年代末において、NDVI の変動が少なく植生増減が小さいことが推測できる。

次に、敖漢旗においては他の地区に比べて各色で示すピクセルの分布が顕著に分散され、黒色から緑色、そして赤色になっていく共に NDVI の値が大きくなっていることが分かる。つまり、1980 年代初期のピクセルが 1990 年代末と時間の経過と共に NDVI が上昇している。よって、この地区においては各ピクセルに植被率の上昇による NDVI 上昇であると推測できる。

そして、エジンホロ旗のピクセル分布は黒から赤に分散している様子が見えるが敖漢旗に比べて変動の幅が小さいと分かる。

最後にエジナ旗黒河下流域のピクセル分布から他の地区に比較して、NDVI が最も小さい範囲に分布し、3 期間の分布特性が見られない。また、PAL/NDVI (Y 軸) に分布するピクセルが存在するため、データのチェックが重要である。



#### 4.3.4 行政区毎における統計データと GIMMS/NDVI データ相関

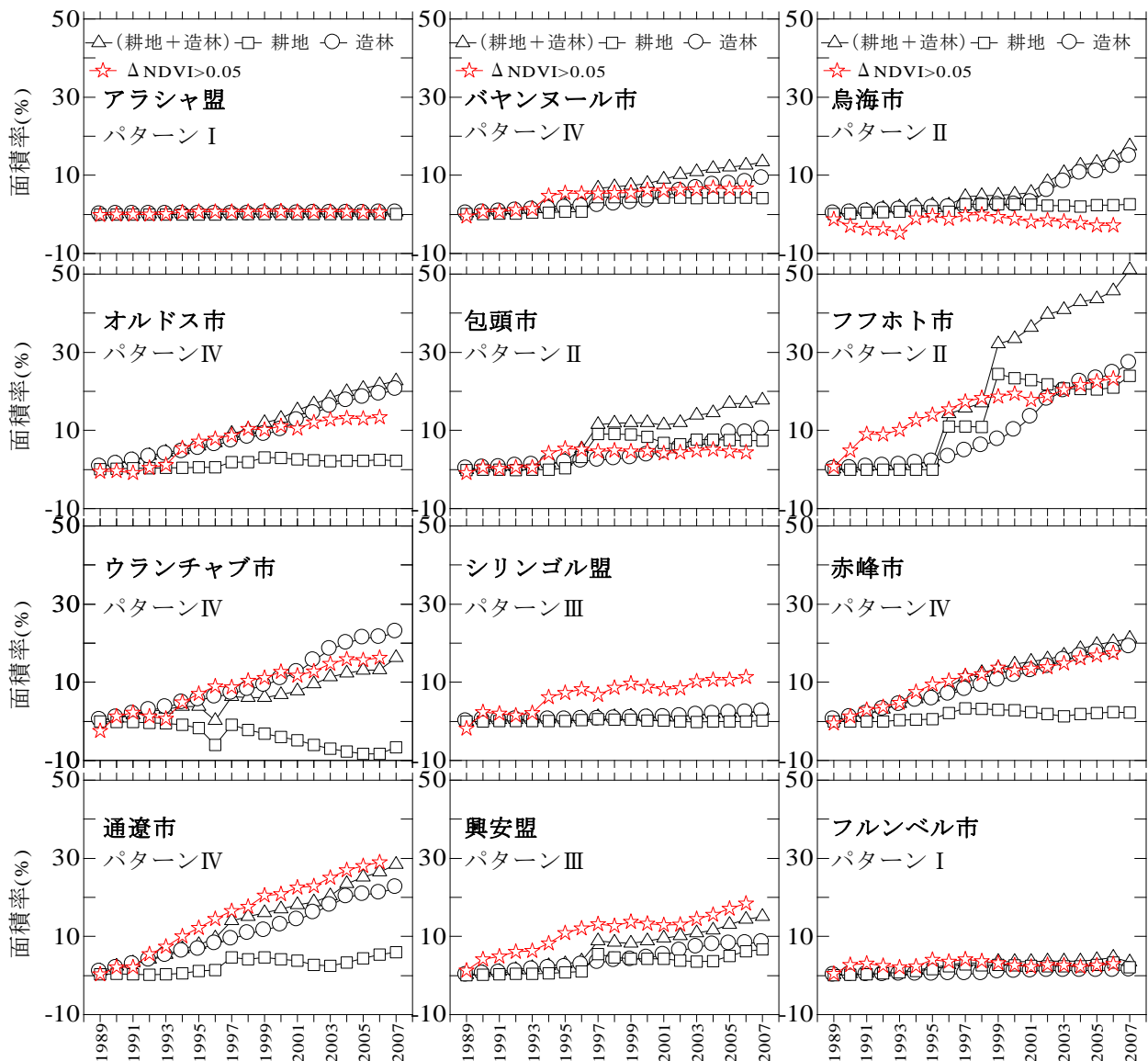


図-4.10 内モンゴ 12 の行政区毎における造林・耕地化面積率の経年積算と GIMMS/NDVI に基づく ( $\Delta NDVI > 0.05$ ) 植生増加の面積率の経年積算比較

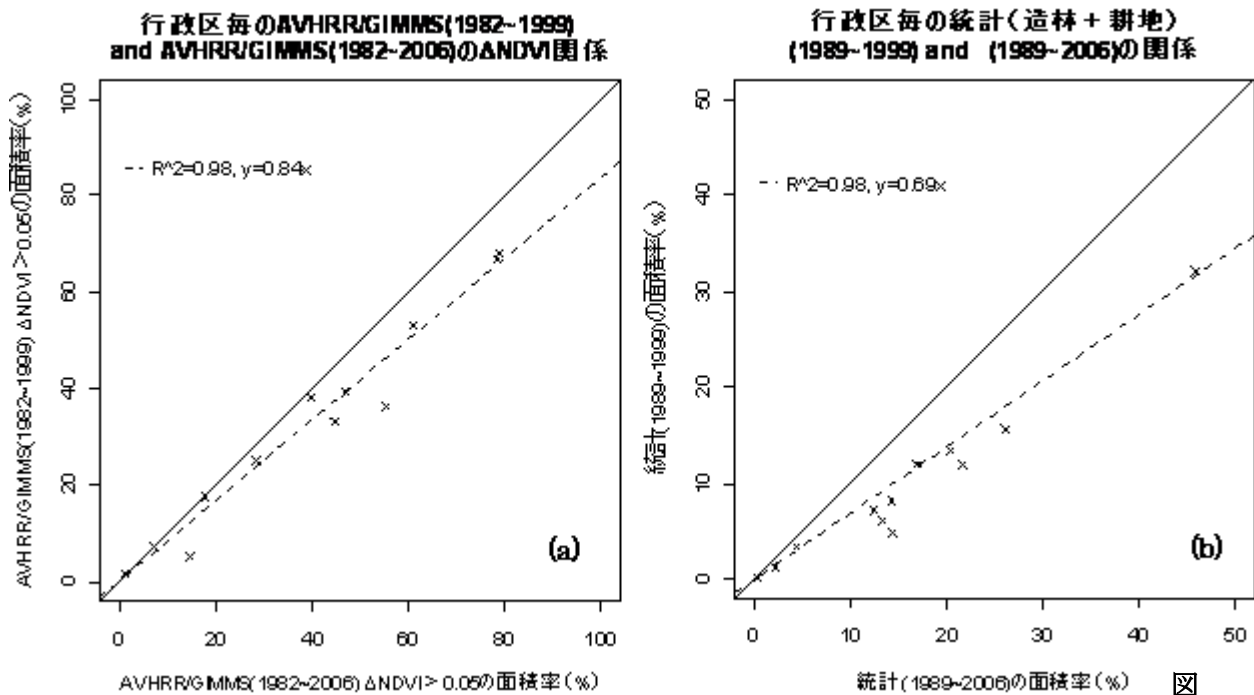
図-4.11 に示したのは、内モンゴ全域の 12 の行政区それぞれにおける 1989~2007 年の耕地及び造林面積の統計（図-4.11 中黒線で示す）及び 1989~2006 年の  $\Delta NDVI > 0.05$  の面積率（図-4.11 中赤線で示す）の積算経年変動を表す。 $\Delta NDVI$  の積算値を示す赤線は AVHRR/GIMMS データに基づいて、1989~2006 年の各年の  $NDVI_{max}$  から Average(1982~1986)の  $NDVI$  引き算が  $> 0.05$  条件を満たすピクセルから求めた各行政区における面積率の積算値の変化を表す。統計データ及び衛星データの両データを用い、土地利用変動を時系列変化で示すことにより、各行政区における土地利用変遷を読み取ることができ、行政区毎の土地利用特性を判

断できる。判断した結果 12 の行政区における土地利用変遷特徴を大きく以下のよう 3 パターンに分かれる。

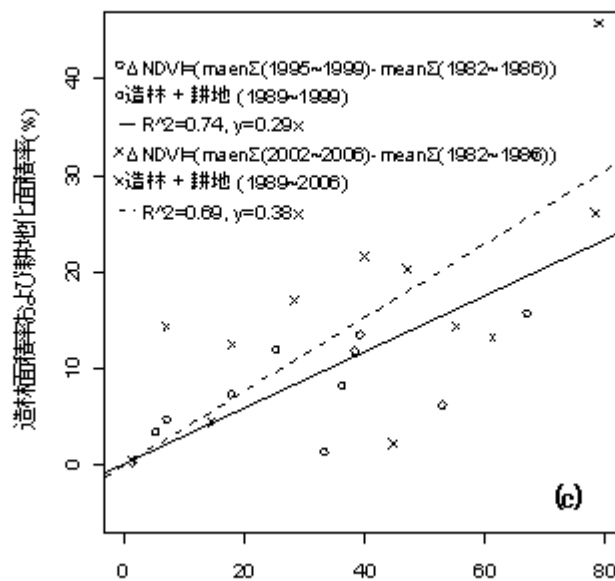
**1990 年代から 2000 年代初期における植生変動の時系列変動特性：**

- パターンⅠ 統計データ及び NDVI データ共にほぼ無変化：アラシャ盟及びフルンベル盟の 2 地区が 1989~2006 年においては、統計データ及び NDVI データに植生変動の増減変動がほぼない。
- パターンⅡ 統計データが NDVI データより大きくなる：烏海市、包頭市、フフホト市の 3 地区においては、2000 年頃から統計データに基づく土地利用の変動面積率が NDVI データに示される面積率の積算より大きくなる傾向が強くなる。前述で統計データと NDVI データに基づいた植生変動の面積率に不一致があったのがここに示す経年変動からもその特性が見られる。特にフフホト市における耕地面積及び造林面積の 1995 年より大きく増加していることが分かる。耕地面積の積算ラインが 1999 年より頭打ちとなり、減少し始めたが、造林面積の継続的な増加がフフホト市全体の土地利用の増加をもたらしている。
- パターンⅢ NDVI データが統計データより大きくなる（パターンⅡの逆）：シリングル盟及び興安盟においては、NDVI データに示される植生変動の面積率が統計データより、大きくなる。シリングル盟においては、統計データには耕地面積及び造林面積の変動が見られず、一見耕地開発や造林などがほぼないように判断してしまうが、NDVI データでは植生変動が大きく反映されており、土地利用の変動を示唆できる。
- パターンⅣ NDVI データ及び統計データの経年変動の一致性が高く、継続的な増加である：バヤンヌール市・オルドス市・赤峰市・通遼市の 4 地区においては、NDVI データ及び統計データの両データに継続的な増加傾向が大きく、両データに基づく積算面積率の変遷も一致性が高いことが分かる。特に赤峰市・通遼市及びオルドス市において、継続的な増加の特性が顕著に見られ、この地区における植生変動及び実地統計の一致性が大きく、土地利用の変動の著しいことを判断できる。

### 4.3.5 ΔNDVI による判断した植生増加の面積と統計値との対応



-4.11 模式図-4.2 に基づく 行政区毎のAVHRR/GIMMS(1982~2006) and 統計データ(1989~2006)との関係



GIMMS/NDVI(ΔNDVI>0.05)の面積 ΔNDVI>0.05の面積率(%) 率と統計値との関係

- (a) 12 の行政区における GIMMS/NDVI(ΔNDVI>0.05)の 1982~2006 年と 1982~1999 年の 2 期間の面積率の対比
- (b) 12 の行政区における統計データに基づく 1989~2006 年と 1989~1999 年の 2 期間の面積率の対比
- (c) GIMMS/NDVI(ΔNDVI>0.05)の面積率と統計面積率との関係

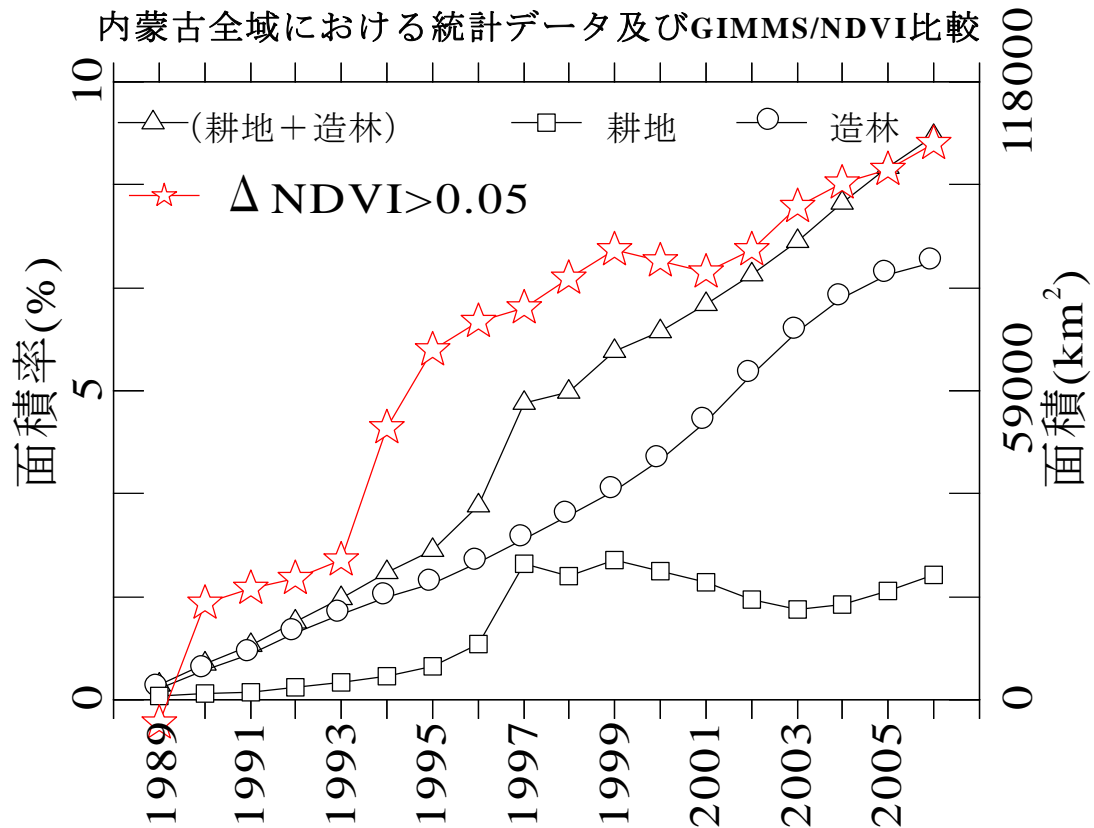


図-4.12 内蒙古全域における造林・耕地化面積率の経年積算と GIMMS/NDVI に基づく ( $\Delta$  NDVI>0.05) 植生増加の面積率の経年積算比較

黒線で示すのは統計データに基づく 1989~2006 年における各年の造林面積及び耕地化面積の積算値を表す線である。□マークの線が耕地化面積の積算変化であり、○マークの線が各年の造林面積の積算変化であり、☆マークの線が耕地化面積及び造林面積の合計線を表す。赤線は AVHRR/GIMMS データに基づいて、各年の  $NDVI_{max}$  から Average(1982~1986) の NDVI 引き算が  $>0.05$  条件を満たすピクセルから求めた内蒙古全域における面積率の変化を示す。

図-4.12 から統計データと衛星データの両データによる土地利用変動の時系列変化の対応を読み取ることができ、内蒙古自治区における土地利用特性が把握できる。統計データに基づく造林面積率はほぼ均一に増加していることが分かる。一方で、耕地面積は 1989~2007 年までには増加傾向で一致しているが、その後耕地面積率が不変動或いは減少傾向になる。特に 2000 年により耕地面積が減少し始めた。この統計数値の背景には、「退耕還林」・「退耕還草」などの生態回復の政策による効果があるとも考えられる。しかし、NOAA/AVHRR GIMMS/NDVI データに基づく土地利用変化の経年トレンドと上述した統計データによる経年トレンドの比較から、両データのトレンド変化の時期の相違性が見られる。このように

衛星データと統計データに生じるトレンド変化の時期相違は統計データに生じた時差の可能性もあると考えられる。統計データと NDVI データに基づく結果から、行政区毎及び内  
蒙古全域において両データの一致性と地域性が示された。

#### 4.3.6 異なる NDVI 衛星データ間の比較及び植生変動における考察

##### 1982~1999 年の各年の $NDVI_{max}$ の比較及び植生変動の抽出対比 (GIMMS 対 PAL)

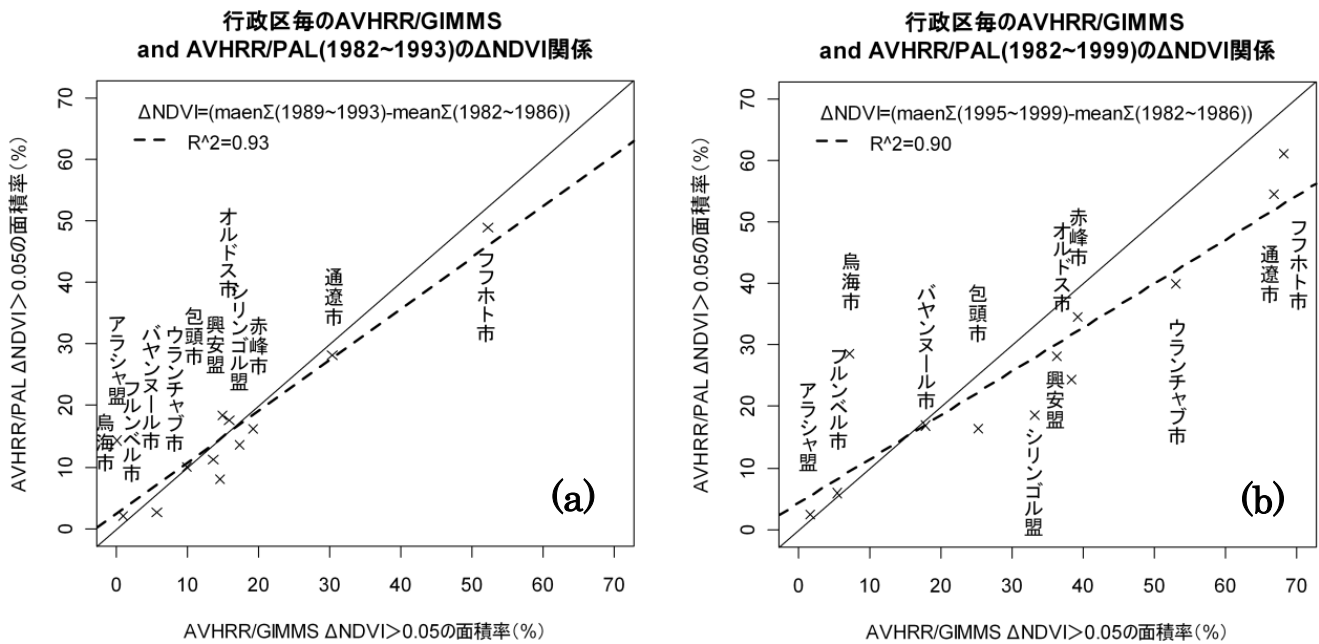


図-4.13 内蒙古自治区 12 の行政区毎における 1982~1993 年及び 1982~1999 年の 2 期間の  $\Delta NDVI$  の面積率変化の比較(PAL/NDVI vs. GIMMS/NDVI)

図-4.13 の作成について

(a): X と Y 軸に示すのは 1982~1993 年の各年の  $NDVI_{max}$  から  $\Delta NDVI > 0.05$  を閾値とし、算出した面積を各行政区単位での割合にした面積率である。

$$\Delta NDVI = \text{mean}\Sigma(1989\sim1993) - \text{mean}\Sigma(1982\sim1986) \quad \dots (4.2)$$

X 軸は AVHRR/GIMMS データによる結果であり、Y 軸は AVHRR/PAL データによる結果である。

(b): X と Y 軸に示すのは 1982~1999 年の各年の  $NDVI_{max}$  から  $\Delta NDVI > 0.05$  を閾値とし、算出した面積を各行政区単位での割合にした面積率である。

$$\Delta NDVI = \text{mean}\Sigma(1995\sim1999) - \text{mean}\Sigma(1982\sim1986) \quad \dots (4.3)$$

X 軸は AVHRR/GIMMS データによる結果であり、Y 軸は AVHRR/PAL データによる結果である。

行政区区分で両データ(GIMMS vs. PAL)による植生増加面積の抽出結果を 1982~1993 年及び 1982~1999 年の 2 期間の  $\Delta NDVI$  の面積率抽出結果を示す図-4.13(a,b)から両データに基づく各行政区における  $\Delta NDVI$  の面積率がほぼ 1:1 であり、R 係数が 0.9 以上となり、GIMMS データと PAL データに基づく結果はほぼ同様であると言える。これにより、2 期間における各行政区の植生増加面積率の変動が 1990 年代初期と 1990 年代後期との対比ができ、どの行政区で植生増加が多いかをこの図の解析から見てとれる。行政区分で最も植生増加が抽出されたのはフフホト市であり、1990 年代初期から植生増加が多いことが分かる。図-4.13(a,b)に示された行政区の面積率の順序が 1990 年代初期と後期で大きく変わった行政区もあれば、ほとんど変わらない行政区も存在する。最も変わった行政区はウランチャブ市であり、1990 年代初期より 1990 年代後期に植生増加の面積が大きいことが分かる。通遼市、赤峰市、オルドス市、興安盟、包頭市と全体的には継続的な植生増加が抽出された。一方で、アラシャ盟、フルンベル市においては行政区の面積に対して植生増加の割合が小さいことが分かる。この結果を空間分布で示し、図化したのは図-4.14 となる。



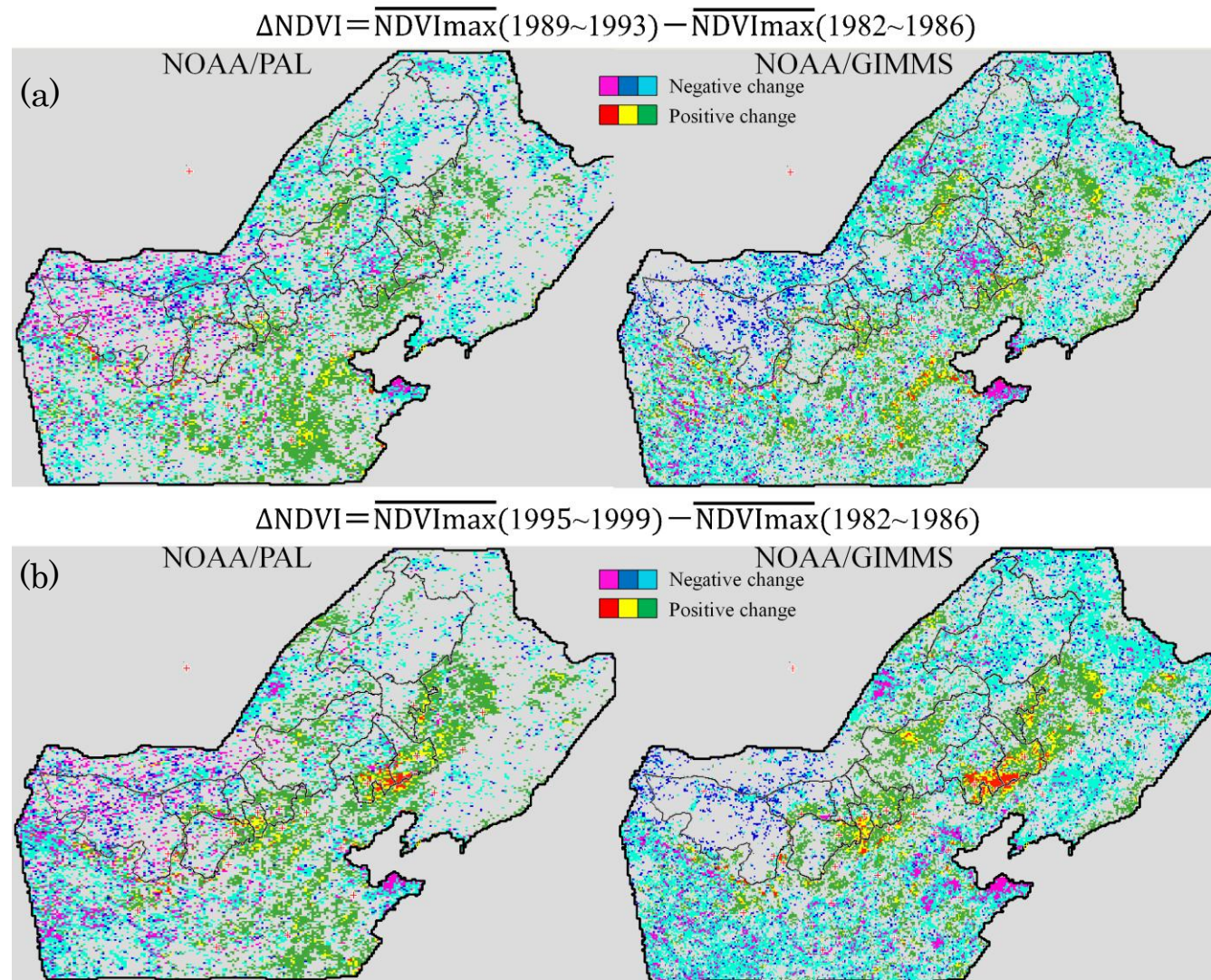


図-4.14 AVHRR/PAL データと AVHRR/GIMMS データ対比

図-4.13 に示した結果を2期間（1982~1999年）（1982~1999）で図-4.13と同様な解析を用いて植生増減の空間分布図を作成した結果、対象地域におけるNDVI変動の一致性が見られ、植生変動の空間分布を明らかにすることができた。一方で、図-4.14(b)に示されたNOAA/GIMMAの空間分布においては、内蒙古自治区より南部となる黄河の下流域においてPALデータよりも $\Delta\text{NDVI}$ の負変動エリアが抽出されており、全体的にも負変動の範囲が大きく見える。特に負変動が最も大きく抽出されたピンク色のエリアにおいてはどのような土地利用変遷であるか、或いはデータ処理過程に生じたエラーであるかを解明すべき課題でもある。本論では、主に内蒙古自治区の範囲での検討を行った。

また、GIMMSデータとPALデータの重なる期間である1982~1999年（1994年を除く）の各年の年最大値 $\text{NDVI}_{\max}$ を抽出し、内蒙古全域のデータを対象にX軸を $\text{GIMMS}/\text{NDVI}_{\max}$ とし、Y軸を $\text{PAL}/\text{NDVI}_{\max}$ として直線回帰を行った結果を表-4.3に表わす。GIMMSデータとPALデータの各年（1986年を除く）の相関係数が0.9以上であり、高い相関であることが分かる。

表-4.3 AVHRR/GIMMS 対 AVHRR/PAL データの相関解析結果

Period	$R^2$ value	Inclination	Offset
1982	0.956	0.889	0.020
1983	0.951	0.843	0.027
1984	0.949	0.885	0.033
1985	0.935	0.851	0.036
1986	0.835	0.792	0.070
1987	0.933	0.861	0.032
1988	0.938	0.881	0.017
1989	0.946	0.876	0.025
1990	0.943	0.872	0.026
1991	0.952	0.874	0.026
1992	0.947	0.819	0.033
1993	0.941	0.890	0.036
1994	PAL No data	PAL No data	PAL No data
1995	0.953	0.872	0.021
1996	0.943	0.884	0.018
1997	0.952	0.868	0.021
1998	0.948	0.942	0.009
1999	0.948	0.897	0.008



1999~2006 年の各年の  $NDVI_{max}$  の比較及び植生変動の抽出対比 (GIMMS 対 SPOT)

同一のデータ期間(1999~2006)である AVHRR/GIMMS 及び SPOT/VGT データの  $NDVI$  変化の抽出結果,  $NDVI$  正負変動の分布特性が見えてきた。先ず, 表-4.4 に示された両データにおける各年の  $NDVI_{max}$  の相関関係から  $R^2$  係数が 0.94 以上となる高い相関関係があることが示された。一方で, 前述したように SPOT/VGT データにおいては, SPOT-4 及び SPOT-5 の相違によりデータ品質の相違がある(Fensholt et al. 2006)。ここでは, 補正前と補正後の結果比較を図-4.15 に示した。

表-4.4 AVHRR/GIMMS 対 SPOT/VGT データの相関解析結果

Period	$R^2$ value		Inclination		Offset	
	補正前	補正後	補正前	補正後	補正前	補正後
1999	0.954	0.954	0.936	0.889	0.023	0.017
2000	0.952	0.952	0.951	0.904	0.018	0.012
2001	0.958	0.958	0.940	0.893	0.004	- 0.002
2002	0.946	0.946	0.925	0.878	0.024	0.018
2003	0.947	0.947	0.959	0.911	0.034	0.027
2004	0.956	0.956	0.952	0.857	0.034	0.021
2005	0.959	0.959	0.974	0.877	0.025	0.013
2006	0.950	0.950	0.946	0.851	0.023	0.011

両データにおける  $\Delta NDVI$  の抽出式は以下を用いる。

$$\Delta NDVI = \text{mean}(NDVI(t2)) - \text{mean}(NDVI(t1)) \quad \cdot \cdot \cdot (4.1)$$

式 4.1 に用いるパラメータは,  $t1$ : 1999~2003 年,  $t2$ : 2003~2006 年,  $NDVI$  は各年度の  $NDVI_{max}$  の平均値を示す。つまり, 2003~2006 年の  $NDVI_{max}$  の平均値より 1999~2002 年の  $NDVI_{max}$  の平均値の差分を求めた。図-4.15 に示す Positive Changed 色分け( $\Delta NDVI > 0.05$  緑色,  $> 0.10$  黄色,  $> 0.15$  赤色)で表し, Negative Changed( $\Delta NDVI < -0.005$  ブルー色,  $< -0.01$  青色,  $< -0.05$  ピンク色)で表す。

図-4.15に示した結果, 1999~2006年においては, 内蒙古自治区を含む周辺地域の植生変動は, シリンゴル盟及び興安盟の局部地域において $\Delta NDVI$ の正変動が両データに共通した結果である。内蒙古周辺地域においては, 黄河の中流域において $\Delta NDVI$ の正変動が見られ, 植生被覆率の増加であると推測できる。黄河中流域は, 黄土高原地域の生態保全地域でもあり, 2000年頃から始まった「退耕還林・還草」及び黄土高原生態保全対策の中心地帯である。土地利用の変遷は, 耕地から森林或いは草地に変遷することで, 土地植生被覆率の増加をもたらすことで,  $\Delta NDVI$ の正変動が生じると示唆できる。黄河中流域においては, SPOT/VGTデータを用いた研究事例からも同様な変動が検討され(XinZhongBao, YuXinXiao

2009), 特に黄河中流域などの植生変動をもたらした背景には人的要因となる「退耕還林・還草」対策によるものである強調する(LiuShulin et al. 2009)。

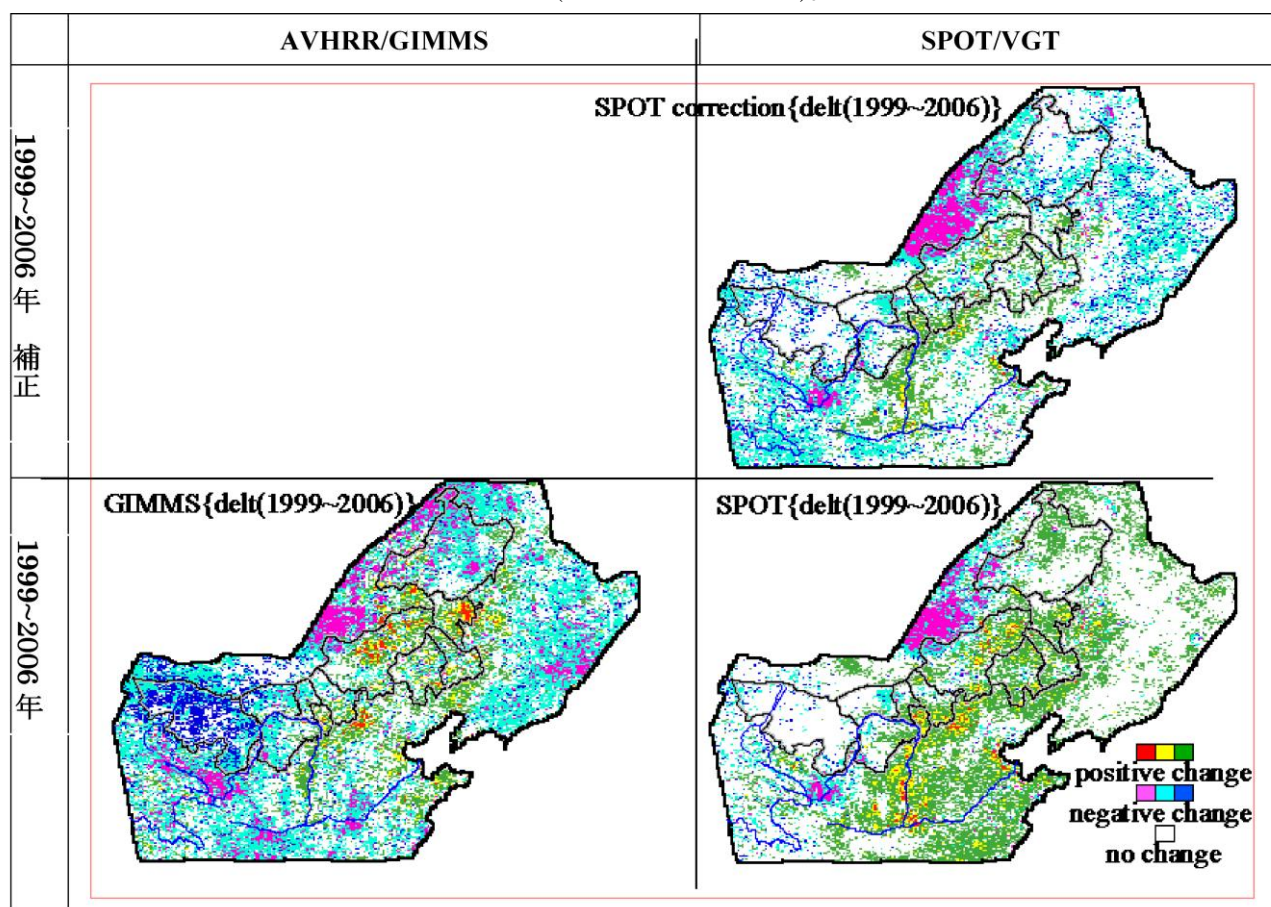


図-4.15 AVHRR/GIMMSデータとSPOT/VGTデータ対比

一方で、1999~2006年におけるNDVIの負変動の分布は、内蒙古内では西部となるアラシヤ盟地域及び東部のシリンゴル草原地帯やフルンベル草原地帯の広範囲で負の変動が見られた(Liu et al. 2009)。同期間において $\Delta$ NDVI負の変動が大きいのは、内蒙古周辺地域に現れ、特に黄河上流域及び内蒙古東北部に離接するモンゴル国側地域において $\Delta$ NDVIの負変動が大きく示され、草地における土地劣化であると推測する。また、同じくSPOT/VGTデータ利用研究では、中国西北においては、2000年代初期でも土地劣化の面積が大きくなっていることが明らかにされている(SongYi, MaMingGuo 2007)。

### 4.3.7 NOAA/PAL and NOAA/GIMMS 両データ及び統計データの相関比較

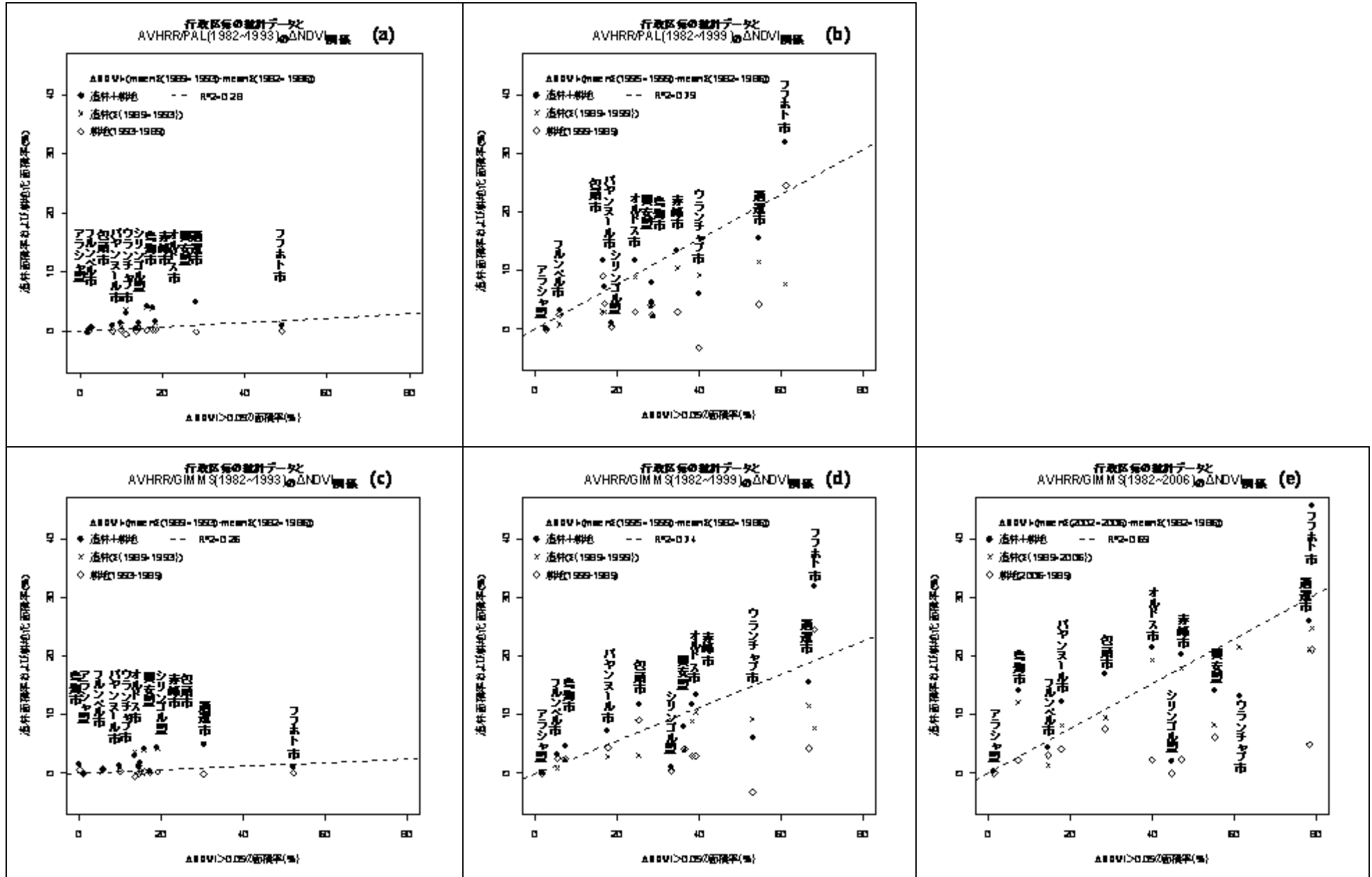


図-4.16 内蒙古自治区の行政区毎の造林・耕地化面積率と ΔNDVI の増加した面積率 (ΔNDVI=0.05) の関係

図-4.16 は節 4.22 に示した手法 4 の模式図-4.2 に基づいて作成された。図-4.16(a,b)は PAL データと統計データの解析であり、図-4.16(c,d,e)は GIMMS データと統計データの解析である。図-4.16(a~e)についてそれぞれ軸説明が以下の通りになる。

(a,c) : X 軸に示す面積率は(1982~1993)年の  $\Delta NDVI > 0.05$  なる条件に基づく  $\Delta NDVI$  面積/行政区面積の割合から求められる。 $\Delta NDVI$  は以下のラスタ計算となる。

$$\Delta NDVI = \text{mean}\Sigma(1989\sim1993) - \text{mean}\Sigma(1982\sim1986) \quad \dots (4.2)$$

Y 軸に示す面積率は(1989~1993)年で統計データによる以下の面積割合を示す。

- × 造林面積の積算/行政区面積
- ◇ 耕地化面積/行政区面積
- (造林面積の積算面積+耕地化面) /行政区面積

(b,d) : X 軸に示す面積率は(1982~1999)年の  $\Delta NDVI > 0.05$  なる条件に基づく  $\Delta NDVI$  面積/行政区面積の割合から求められる。 $\Delta NDVI$  は以下のラスタ計算となる。

$$\Delta NDVI = \text{mean}\Sigma(1995\sim1999) - \text{mean}\Sigma(1982\sim1986) \quad \dots (4.3)$$

Y 軸に示す面積率は(1989~1999)年で統計データによる以下の面積割合を示す。

- × 造林面積の積算/行政区面積
- ◇ 耕地化面積/行政区面積
- (造林面積の積算面積+耕地化面) /行政区面積

(e) : X 軸に示す面積率は(1982~2006)年の  $\Delta NDVI > 0.05$  なる条件に基づく  $\Delta NDVI$  面積/行政区面積の割合から求められる。 $\Delta NDVI$  は以下のラスタ計算となる。

$$\Delta NDVI = \text{mean}\Sigma(2002\sim2006) - \text{mean}\Sigma(1982\sim1986) \quad \dots (4.4)$$

Y 軸に示す面積率は(1989~2006)年で統計データによる以下の面積割合を示す。

- × 造林面積の積算/行政区面積
- ◇ 耕地化面積/行政区面積
- (造林面積の積算面積+耕地化面) /行政区面積

※ 図中に表記してある行政区の地名は、各図の●の地点を指す。

図-4.16(a~e)に示す統計データ及び衛星データとの関係から内蒙古自治区の各行政区における植生変動の時系列変動と地域性が得られた。節 4.3.6 に GIMMS データと及び PAL データの両期間の対比を行った結果を示した。ここに示す図-4.16 では更にこの両データから抽出した植生変動の面積が統計資料に基づく植生変動の面積（造林面積の積算面積+耕地化面）との対応関係を示した。

① 図-4.16(a,c)に示したように 1982~1993 年の  $\Delta NDVI$  と 1989~1993 年の統計資料に基づく土地利用の面積を直線回帰行った結果  $R^2 < 0.3$  と示され、統計データと衛星データに相関が認められない。その要因としては、1989 年以前の統計資料が未公開或いは統計されてないため、1982~1993 年の期間においては衛星データの抽出結果を統計資料から検討できないことになる。しかし、図-4.16(c)の X 軸に示されたように 1982~1993 年までの期間においては、フフホト・通遼市・包頭市・赤峰市・シリンゴル・興安盟・オル

ドス市・ウランチャブ市・バヤンヌール市・フルンベル市・アラシャ盟・烏海市という順で最も  $\Delta NDVI$  の面積割合が大きかったのはフフホト市であり、最小だったのは烏海市である。

- ② 図-4.16(b,d)に示したのは、1982~1999 年の  $\Delta NDVI$  と 1989~1999 年の統計資料に基づく土地利用の面積を直線回帰行った結果  $R^2 > 0.7$  と示され、統計データと衛星データに高い正の相関が認められた。この結果から  $\Delta NDVI$  に基づく植生増加は土地利用による変動と対応関係であることが示唆できる。図-4.16(d)の X 軸に示されたように 1982~1999 年までの期間においては、フフホト・通遼市・ウランチャブ市・赤峰市・オールドス市・興安盟・シリンドル盟・包頭市・バヤンヌール市・烏海市・フルンベル市・アラシャ盟という順で最も  $\Delta NDVI$  の面積割合が大きかったのはフフホト市であり、最小だったのはアラシャ盟である。
- ③ 図-4.16(e)に示したのは、1982~2006 年の  $\Delta NDVI$  と 1989~2006 年の統計資料に基づく土地利用の面積を直線回帰行った結果  $R^2 = 0.69$  となり、統計データと衛星データの相関係数が 1982~1999 年の期間に比べれば落ちたものの正の相関が高いと見なす。この結果から 1982~1999 年の期間から 1982~2006 年の期間において、1990 年代と 2000 年代のどの期間においても植生増加の変動が統計資料に示された人的要因による土地利用変遷であると示唆できる。図-4.16(e)の X 軸に示されたように 1982~2006 年までの期間においては、フフホト・通遼市・ウランチャブ市・興安盟・赤峰市・シリンドル盟・オールドス市・包頭市・バヤンヌール市・フルンベル市・烏海市・アラシャ盟という順で最も  $\Delta NDVI$  の面積割合が大きかったのはフフホト市であり、最小だったのはアラシャ盟である。

以上の結果から内蒙古自治区全域において、衛星データによる抽出された植生増加の面積が統計資料に示された造林面積と耕地化面積の合計面積と高い正の相関関係が示され、内蒙古における植生変動は人的要因による変動である可能性を示唆できた。また、植生増加の面積が拡大された地域を行政区区分で特定でき、1980 年代初期から 2000 年初期までの変遷がほぼ継続的であることが分かった。特に内蒙古自治区の首府でもあるフフホト市の植生増加が 1980 年代より継続的に増加し、土地利用の変遷が最も顕著な地域である。次いで、通遼市や赤峰市においても継続的な植生増加が見られた。一方で、アラシャ盟やフルンベル市においては植生増加が小さく、土地利用の変遷が少ないと見られる。

また、図-4.16(a~e)に示した各期間の  $\Delta NDVI$  の面積割合に対する統計資料に基づく土地利用の面積割合の直線回帰かあ図-4.16(b,d,e)に正の相関があるのは自治区全体に対する解釈であり、つまり直線回帰線から離れた離れる行政区も存在することが分かる。その特徴としては、 $\Delta NDVI$  の面積率が高いものの統計面積率が低い地域である。つまり、X 軸の値が高いのに対して Y 軸の値が低い。このような結果が出たのは図-4.16(b,d,e)共に示されたウランチャブ市・シリンドル盟・興安盟・通遼市が挙げられる。しかし、ウランチャブ市において

は全域中唯一耕地面積が減少している行政区となる。一方で、ウランチャブ市における造林面積が増加し、 $\Delta NDVI$  との対応が大きいことが分かる（図-4.16(e)参照）。特にシリングゴル盟においては  $\Delta NDVI$  による植生増加が抽出されたものの、統計資料による土地利用の変動が小さいことが分かる。シリングゴル盟の土地利用においては、典型的な草原ステップ地帯であり、植生増加よりも砂漠化の報告が多く、草原の劣化が懸念されてきた。しかし、なぜ衛星データでは植生増加の割合が多く抽出された要因については気候変動などの要素から詳細に検討する必要がある。また、シリングゴル盟の行政区面積が大きく土地利用の統計になっていない地域もあると考えられる。近年、シリングゴル盟における土地利用のトラブルや草原が耕地化されたニュースなどの背景からは、抽出された植生増加は人的要因による土地利用の変遷であるという推測もできる。

上述したのように AVHRR/PAL（図-4.16(b)）及び AVHRR/GIMMS 図-4.16(d,e)両データセットの結果と統計データとの相関関係が正の相関であることが分かった。以上の結果を踏まえて AVHRR/GIMMS データに示された 2000 年以降の土地利用変化図-4.16(e)を以下のようにまとめる。

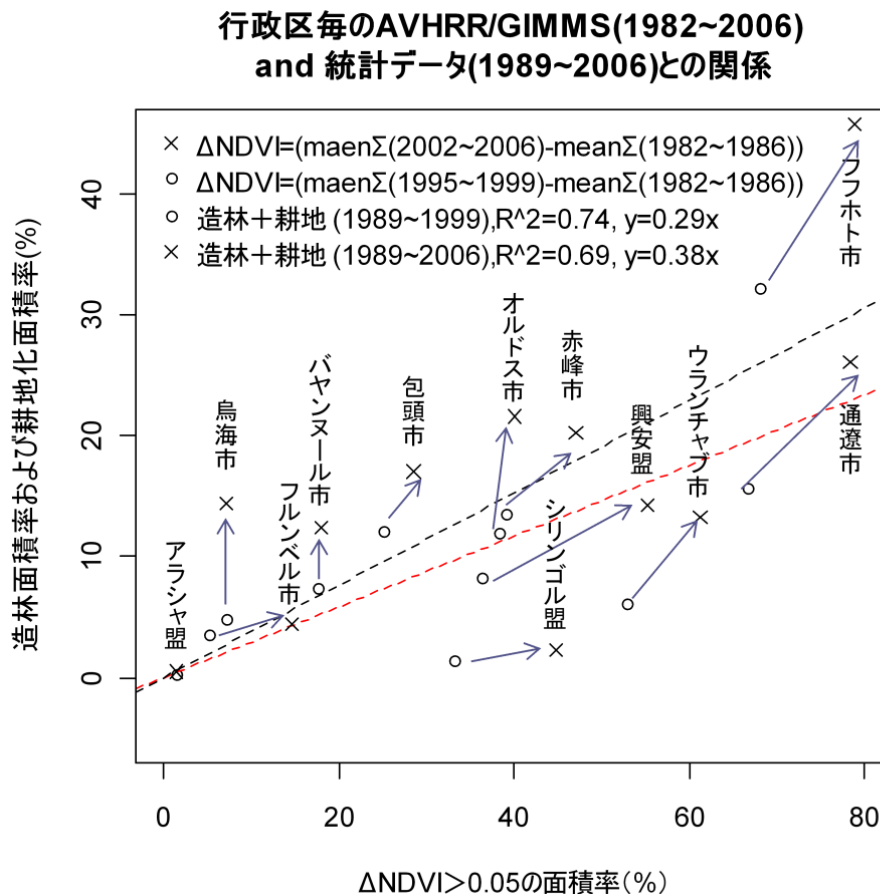


図-4.17 GIMMS データに基づく行政区毎の  $\Delta NDVI$  の増加した面積率と造林・耕地化面積率の関係

図-4.17 に示したのは、各行政区における  $\Delta NDVI > 0.05$  の面積率とその地域における造林面積と耕地化面積率の関係を表す。 $\Delta NDVI$  の両期間 1982~1999 年及び 1982~2006 年に対して、統計データの両期間 1989~1999 年及び 1989~2006 年における両データの相関は 0.74 と 0.69 であり、相関性があると判断する。また、1982~1999 年における  $\Delta NDVI$  の変化面積率に対して 1989~1999 年の面積率の約 3.4 倍( $y=0.29x$ )の相関関係が見られ、1982~2006 年と 1989~2006 年の両データ間では約 2.6 倍( $y=0.38x$ )の相関関係が見られ、この期間の傾きが大きくなった。しかし、全域の中で烏海市・バヤンヌール市・オールドス市・フフホト市においては、2000 年代初期における統計データの面積率の変化が  $\Delta NDVI$  の面積率より大きく変動していることが分かる。つまり、統計データでは 2000 年代初期において、これらの地域における造林や耕地面積の増加は、 $NDVI$  データからはそれに相当する程の変動が検出されてないことから、統計データの過大報告に起因すると考えられる。一方で、シリングル盟においては 1990 年代から 2000 年代初期にかけて統計データでの面積数値が低い、 $NDVI$  データからはシリングル盟全域の 40%以上の植生変動面積率があるので、このような植生変動が生じている地域においては、統計データに反映されてないと考えられるが、その土地利用変化の詳細を求める必要性がある。ウランチャブ市においても、1990 年代における統計値の面積率が約 5%に対して  $\Delta NDVI$  の面積率が 10 倍以上になり、1990 年代における統計数値が過小であると判断する。

#### 4.4 まとめ

内蒙古自治区における 2000 年以降の植生変化が 1990 年代までの植生変化と同じ傾向が継続しているか否かについて、NOAA/AVHRR(GIMMS and PAL) データと SPOT/Vegetation のデータセットを用いて、 $NDVI$  の変化を調べた。その結果、内蒙古自治区の広域を対象にし、第 3 章で用いた NOAA/AVHRR(PAL) データを加えた 3 つのデータセットを対比すると、得られた植生変動の傾向性は、ほぼ一致した。このような衛星データと統計データとの検証結果から衛星リモートセンシングデータに示された植生変動の傾向性は、中国の環境対策による土地利用変動を示唆できる重要な知見を得た。また、異なる時間スケール及びデータ特性である三つの  $NDVI$  データセットを用いることによって、衛星データの継続的な利用性及び植生変動の長期モニタリングについて検討できた。AVHRR/GIMMS データを用いて 2000 年以降の  $NDVI$  変化を求めることによって、内蒙古自治区における 2000 年以降の植生変化を推測できた。中国北部の大興安嶺林地区における森林域では、 $NDVI$  の季節毎の経年変動が展葉期間の 4 月と落葉期間の 10 月にも  $NDVI$  の経年的な増加傾向が発生し、これらの植生季節毎の経年変動は気候変動の影響によると推測する。

$NDVI$  データに示された植生増加変化について、時系列変動性及空間分布の地域性が統計年鑑による統計データと多くの行政区で正の相関があることが示された。その一方、一部

の行政区レベルでの統計データにおける過大評価や過小評価の実態が明らかとなった。これにより、内蒙古全域において行政区毎の土地利用統計データのみでは、各行政区内での土地利用変化の空間分布を示すことが難しい。これに衛星データの併用から土地利用の変遷による植生分布の状況や時系列変動を示す有効な手段であると実証できた。

衛星データと統計データを内蒙古自治区にある12の行政区毎に比較すると、烏海市・バヤンヌール市・オルドス市・フフホト市においては、2000年代初期における統計データの面積率の変化が同期間におけるNDVI正変化の面積率より大きく変動していた。つまり、統計データでは2000年代初期において、これらの地域は造林や耕地面積が増加しているが、NDVIデータからはそれに対応する程の植生変動が検出されておらず、統計データの過大報告があると考えられる。一方で、シリントゴル盟においては1990年代から2000年代初期にかけて統計データでの面積が小さいが、NDVIデータからはシリントゴル盟全域の40%以上の地域で植生増加が抽出され、統計データによる推定が衛星データの推定より小さく示され、土地利用の変動が統計データに反映されてないと考えられた。また、ウランチャブ市においては、1990年代における統計値の面積率が約5%増加しているのに対して、NDVIの正変化による植生増加推定面積率が統計値に基づく推定より10倍以上となり、統計数値が過小であると判断された。その他の行政区において、植生増加面積とその時系列変化の動向は、衛星解析と統計資料は対応していたために、統計データと衛星データによる推定が対応しない地域においては、衛星データによる推定が土地利用変化の詳細を表していると考えられる。



## 引用文献

- 長田甫, 近藤昭彦. 2007: 中国内蒙古における沙漠化認識のスケール依存性について. In 日本地球惑星科学連合大会. 東京.
- Tucker, C. J. P., Jorge E. Brown, Molly E. Slayback, Daniel A. Pak, Edwin W. Mahoney, Robert Vermote, Eric F. Saleous, Nazmi El. 2005: An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data. *International Journal of Remote Sensing* 26 (20):4485 - 4498.
- Brown, M. E., J. E. Pinzon, K. Didan, J. T. Morisette, and C. J. Tucker. 2006: Evaluation of the consistency of long-term NDVI time series derived from AVHRR, SPOT-vegetation, SeaWiFS, MODIS, and Landsat ETM+ sensors. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on* 44 (7):1787-1793.
- Elena Tarnavsky, S. G., Molly E. Brown. 2008: Multiscale geostatistical analysis of AVHRR, SPOT-VGT, and MODIS global NDVI products. *Remote Sensing of Environment* 112:535-549.
- 小柳智和, 本岡毅, 西田顕郎, 眞板秀二. 2008: SPOT-Vegetation と Terra-MODIS による東アジアの植生変動推定. *日本リモートセンシング学会誌* 28 (1):36-43.
- 川村健介, 秋山侃, 横田浩臣, 安田泰輔, 堤道生, 渡辺修, and 汪詩平. 2005: 草原生態系の保全と持続的利用にむけて: 衛星モニタリングと GPS/GIS(<特集 2>大規模長期生態学研究とは何か?). *日本生態学会誌* 55 (2):327-335.
- 五十嵐保, 今岡啓治, 可知美佐子, 藤井秀幸, 村上浩, 堀雅裕, 小野朗子, 田中一広, 伊藤徳政, 中川敬三. 2009: 地球環境変動観測ミッション (GCOM) の展望. *日本リモートセンシング学会誌* 29 (5):665-674.
- Kallurib, M. E. J. S. N. V. 1994: The Pathfinder AVHRR land data set: An improved coarse resolution data set for terrestrial monitoring. *International Journal of Remote Sensing* 15(17):3347-3363.
- Shabanov, N. V., Z. Liming, Y. Knyazikhin, R. B. Myneni, and C. J. Tucker. 2002: Analysis of interannual changes in northern vegetation activity observed in AVHRR data from 1981 to 1994. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on* 40 (1):115-130.
- NOAA/AVHRR(GIMMS シ リ ー ズ デ ー タ ).  
ftp://ftp.glc.f.umd.edu/glc.f/GIMMS/Geographic/.
- Holben, B. N. 1986: Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing* 7 (11):1417 - 1434.
- Tucker, C. J. 1979: Red and photographic infrared linear combinations for monitoring

- vegetation. *Remote Sensing of Environment* 8 (2):127-150.
- Kidwell, K. B. 1998: NOAA Polar Orbiter Data User's Guide (TIROS-N through NOAA-14). NOAA, NESDIS, NCDC, Climate Services Division, Satellite Services Branch, revised November 1998.
- Young, S. S., and R. Harris. 2005: Changing patterns of global-scale vegetation photosynthesis, 1982-1999. *International Journal of Remote Sensing* 26 (20):4537 - 4563.
- Tucker, C. J., J. E. Pinzon, M. E. Brown, D. A. Slayback, E. W. Pak, R. Mahoney, E. F. Vermote, and N. El Saleous. 2005: An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data. *International Journal of Remote Sensing* 26 (20):4485 - 4498.
- Tarnavsky, E., S. Garrigues, and M. E. Brown. 2008: Multiscale geostatistical analysis of AVHRR, SPOT-VGT, and MODIS global NDVI products. *Remote Sensing of Environment* 112 (2):535-549.
- 額尔德尼, 堀田紀文, 鈴木雅一. 2009: 中国内蒙古自治区における 1982-1999 年の植生変化についての NOAA/AVHRR データを用いた検討. *日本緑化工学会誌* 35 (2):338-350.
- SPOT/VGT(NDVI データ公開サイト). <http://free.vgt.vifo.be/heme.php>.
- Wada, Y., and W. Ohira. 2004: Reconstructing Cloud-Free SPOT/Vegetation Using Harmonic Analysis with Local Maximum Fitting. In *25th Asian Conference on Remote Sensing*. Thailand, 1663-1667.
- Song, Y., Ma, M.G. 2007: Study on Vegetation Cover Change in Northwest China Based on SPOT VEGETATION Data. *Journal of Desert Research*. (in chinese).
- Liu, S., T. Wang, J. Guo, J. Qu, and P. An. 2009: Vegetation change based on SPOT-VGT data from 1998 to 2007, northern China. *Environmental Earth Sciences* 60 (7):1459-1466.
- オープン GIS. *TNTmips-J WEB Site* [cited. Available from <http://www.opengis.co.jp/index.htm>].
- U. Schneider, T. F., A. Meyer-Christoffer, B. Rudolf 2008: Global Precipitation Analysis Products of the GPCC: Global Precipitation Climatology Centre (GPCC)
- 蒲生稔, 篠田雅人. 1999: 気候と植生からみた乾燥域の分類. *大会講演予講集* 75:369.
- Tateishi, R. 2001: Trend and Challenges of Global Land Use/Land Cover Mapping from Space. In *International Symposium on LUCC Contribution to Asian Environmental Problems*. Tokyo, Japan.
- Germán Baldi, M. D. N., Roxana Aragón, Fernando Aversa, José M. Paruelo, Esteban G. Jobbágy 2008: Long-term Satellite NDVI Data Sets: Evaluating Their Ability to

- Detect Ecosystem Functional Changes in South America. *sensors* 8 (9):5397-5425.
- 山崎博之, 新居知己. 2004: P309 モンゴルにおける気象要素の年々変動と植生指標の年々変動の関係. *大会講演予講集* 85:397.
- 石原光則. 2003: 日本における植生指数と気象条件の相関解析 筑波大学大学院博士課程システム情報工学研究科修士論文:5-6.
- Nobuhiko, E., M. Jun, Y. Nami, F. Azusa, and A. Ikumi. 2007: Recent Changes of Precipitation Amount and its Characteristics in the Word. *Journal of geography* 116 (6):824-835.
- 大吉慶, 竹内渉, 安岡善文. 2004: 北東アジアにおける植生生物季節の変動. In *第13回生研フォーラム宇宙からの地球環境モニタリング*: (財) 気象業務支援センターが発行.
- 安岡善文. 2006: 陸域生態系モデル作成のためのパラメタリゼーションに関する研究. *平成17年度研究成果報告書*.
- Idris, M. H., K. Kuraji, and M. Suzuki. 2005: Evaluating vegetation recovery following large-scale forest fires in Borneo and northeastern China using multi-temporal NOAA/AVHRR images. *Journal of Forest Research* 10 (2):101-111.
- Wu, R.F., Shen. J.G., Yan, W.X., Zhang, H. 2009: Impact of climate warming on phenophase of *Populustomentosa* in Inner Mongolia. *Chinese Journal of Applied Ecology* 20 (4):785-790, in Chinese with English abstaract.
- Fensholt, R., T. T. Nielsen, and S. Stisen. 2006: Evaluation of AVHRR PAL and GIMMS 10-day composite NDVI time series products using SPOT-4 vegetation data for the African continent. *International Journal of Remote Sensing* 27 (13):2719 - 2733.
- Xin, Z.B., Yu, X.X. 2009: Impact of vegetation restoration on hydrological processes in the middle reaches of the Yellow River, China. *Forestry Studies in China* 11(4):209-218.
- Liu, S.L., Wang. T., Guo, J., Qu, J.J, and An, P.J. 2009: Vegetation change based on SPOT-VGT data from 1998–2007, northern China. *Environ Earth Sci*.

## 第5章

# 広域における植生変化の定量的評価

### —植生劣化地域の特徴について—

#### 5.1 はじめに

広域における土地利用の評価について、衛星リモートセンシング手法を用い、土地利用の長期変動を捉えることが実証され、森林や草原地域における植生変動の評価にもこの手法が用いられることが可能である。しかし、衛星データの空間分解能や時間分解能の相違によって、評価基準が異なる場合が想定される。これに対して、前章までに検証してきたNDVIの閾値を定量基準に取り、すべての地域と時期で一貫して用いれば、同一の基準から植生変動を評価できると示唆できた。衛星リモートセンシング手法には、このよう特徴が活かせるため、大面積で起こる生態学的現象を長期的に定量的評価ができると考えられる。

前章までにリモートセンシングの特徴となる広域的な評価や地域性を同一基準で評価できた。また、リモートセンシング手法を用いて、植生変動の過去にさかのぼって年次変動をモニタリングする長期的観測が可能である(Kensuke et al. 2005; HOSHINO et al. 2010)。内蒙古自治区において、植生被覆率の増加が実証でき、この変動をもたらした要因は人為的な植林・植草や農地拡大による影響が大きいことが分かった。植林や植草はもとも植生が生育する条件がある上で、成立すると考えられる。緑地や農地造成は立地条件の違いによって、変遷過程の差異がある(Okayasu et al. 2006)。内蒙古における緑化による植生増加も、各地域の立地条件によって、植生被覆率の増大傾向や存続する可能性を示唆できる。植生変動は急激に変化しないため、植生変動の特性を捉えるには時間スケールが長いほど有効である(秋山侃 1994)。特に、乾燥地における緑化などによる人為的な生態修復は、何十年の時間スケールで施策されるため、それによる植生変動の把握は重要である。本研究に用いたNOAA/AVHRR GIMMS衛星データは時系列で最も長いデータセットであり、このリモートセンシングの特徴を活かして、内蒙古自治区における植生変動の年次経過を追うことで、砂漠化や緑化などによる植生変遷の過程を明かす。

前章までに内蒙古自治区各行政区におけるNDVIの変動を時系列比較やNDVIに基づく植生変動の推測と土地利用の統計データに基づく植生変動の推定比較を行い、その相関性からNDVIデータに基づいた植生分布及びその植生変遷の地域性を把握できた。しかし、植生変動の空間分布や地域性が明らかになったが、各地域における植生変動はもともど

のような土地利用から変遷してきたかが説明できない。リモートセンシング手法を用いた多くの研究では、土地利用の変遷がどのような変遷過程から現に至ったかを長期間スケール及び広域での議論ができるのがこの手法の特徴でもあり、土地利用の変化及び変遷過程を明かすのが重要であると考え。特に、本研究に対象とした地域は緑化や砂漠化の影響が大きいと知られているが、緑化された地域や砂漠化された地域の植生変動の時系列変動や土地利用区分での変動が明らかではない。つまり、緑化されて植生被覆率が増大された地域はもともとどのような土地利用だったかが不明瞭であり、植生増加は継続的であるか或いは時期変動があるかが不明瞭である。また、砂漠化された地域において植生は継続的に減少傾向であるか或いはその減少が止まっているかが不明瞭である。本章では、土地利用区分における植生変動を定量的に区分し、植生変遷の時系列追跡を行う。これによって、上述した課題を明らかにする。また、NDVIを定量的に区分し、対象地域における植生変化の時期及びその面積割合を評価する。1980年代初期に当たるNDVIを区分した上でNDVIの時系列トレンド解析を行い、NDVIトレンドの経年変化を示し、年間 $NDVI_{max}$ 及び月毎のNDVI年々変動を直線回帰して「傾き」値を求め、行政区毎における年間 $NDVI_{max}$ のトレンド解析及び土地利用毎におけるNDVIの季節変化の特性を明らかにする。第3章と第4章で明らかになった内蒙古自治区の植生変化が、もともとどのような植生のところで生じたか、内蒙古自治区12の行政区毎に植生・土地利用データセットを加えて土地利用区分毎の植生変動の実態を明らかにする。特に、統計資料との対比ができなかった植生が減少した地域について詳しい検討を行う。また、第3章と第4章で論じていなかった植生が減少したところの評価について、土地利用データセットによって、NDVIが減少したところを土地利用区分で検討を行う。

## 5.2 解析手法及び利用データ

### 5.2.1 利用データ

- ・NOAA/AVHRR GIMMS(1982~2006)データセット(第4章に用いたため、ここでは説明を省略)

- ・地球地図ーグローバル土地被覆 Global Land Cover Map2003(以降 GLC2003 と略記)

ここでは対象地域における土地利用分類を行うため、GLC2003土地利用データを用いた。本データは、National Mapping Organizations(GLCNMO)によるGlobal Mapping Projectで作られたデータセットである。土地利用分類を20のクラスに分けた分類を行い、1km空間分解で地球カバーデータとなる。衛星MODIS/NDVIデータ及びその他のランドサット衛星画像データの利用により作成された。データ公開はGlobal Mapping Project website(<http://www.iscgm.org/>)或いはCERes website(<http://dbx.cr.chiba-u.jp/geobase/>)により入手可能である。データ格納形式は、以下の内容となる(Ryutaro Tateishi et al. 2008)。

Resolution	30 arcseconds
Year	2003
File type	Geo TIFF format
Data type	Byte(8bits)
Bit order	Little end ordering(Intel x86)
Projection	Geographic map projection(Lat/Long)
Reference Datum	WGS84
Geographic Division	One global dataset and five continental datasets

### 5.2.2 解析手法

正規化植生指数(NDVI)は LAI やバイオマスと対応付けられることが多くの研究で検証されている。従って、NDVI の年最大値はその年の植生の最大 LAI 或いは年間バイオマスの最大時と対応すると考えられている(近藤昭彦 2004)。本研究においても、前章から  $NDVI_{max}$  の指標を用いることで植生変動による土地利用の変遷過程を検証できた。各地における  $NDVI_{max}$  の時系列変動がその地域におけるバイオマス量変動であるとも考えられる。

データ前処理 : GIMMS/NDVI データセット及び GLC2003 の空間解像度が異なるため、グリッドサイズを GIMMS/NDVI データに統合し、同一のピクセルサイズ変更を行った。本章では、GIMMS データとの対比を行うため、NDVI の年最大値を求め、NDVI の年最大値の年々変動性を調べ、次に示す手法 6 つの解析プロセスで考察を行った。

手法 1:土地利用データに基づく土地利用の区分及び区分毎における NDVI 変動の比較

GLC2003 の土地利用データに基づき、対象地域において土地利用分類を行い、更に大きく 4 つの土地利用(森林、草地、農地、裸地)に分けた。そして、土地利用分類毎に対する NDVI のばらつき程度をみる。また、土地利用毎の NDVI 季節性や経年変化を比較し、土地利用毎の季節特性を明かす。

手法 2:各行政区における 1982~2006 年における  $NDVI_{max}$  の経年変化の検討

手法 3:地域における年最大値  $NDVI_{max}$  の経年変化比較

手法 4:各行政区における 1980 年代初期の  $NDVI_{max}$  を基準に年最大値  $NDVI_{max}$  の傾き変化の比較検討

各行政区における 1980 年代初期の  $NDVI_{max}$  を 0.1 刻みで区分し、区分毎における 1982~2006 年の各年の年最大値  $NDVI_{max}$  の 25 年間の  $NDVI_{max}$  の経年変動に対して直線回帰を行い、その直線の傾きの変化に基づき、植生増減の変化の特性を検討する。この解析手法は、まず、1982~1986 年の各年の  $NDVI_{max}$  からこの 5 年平均値を NDVI カテゴリ分け、各カテゴリ NDVI の経年変化を示す。NDVI カテゴリは、0.0~1.0 範囲に 0.1 刻みで 10 の区分 (0.0~0.1, 0.1~0.2, 0.2~0.3, 0.3~0.4, 0.4~0.5, 0.5~0.6, 0.6~0.7, 0.7~0.8, 0.8~0.9, 0.9~1.0)に分ける。次に、対象地域において以上のカテゴリ区分を行い、その区分における NDVI 経年変化を

示す。また、NDVI が減少した土地利用において、植生別に区分し、行政区毎に 400km<sup>2</sup> 以上で草地の NDVI が減少した地域を抽出する。

手法 5: 時期分けの NDVI<sub>max</sub> の面積変遷

1980 年初期(1982~1986 年), 1990 年代初期(1989~1993 年), 1990 年後期(1995~1999 年), 2000 年代初期(2002~2006 年)となる 4 期間に分け、各期間における NDVI<sub>max</sub> の区分での面積率を求め、行政区間の対比を行う。

手法 6: 土地利用分類における植生変動の面積推定

ここでは、GLC2003 のデータに基づき、内蒙古自治区全域及び各行政区における土地利用分類を行い、土地利用毎に対する植生変化を面積集計により、植生変動の量的評価をする。NDVI データから植生変動を抽出する基準は、 $\Delta\text{NDVI}$  の閾値に基づく。閾値については、第 3 章で検討された閾値を用い、 $\Delta\text{NDVI} > 0.05$  となる面積を集計し、植生増加面積として評価する。 $\Delta\text{NDVI}$  の負の変動については、 $-0.05$  と  $-0.005$  となる二つの閾値に基づいて面積集計を行い、 $-0.005$  を基準値に植生減少面積として土地劣化の面積評価を行う。

### 5.3 結果及び考察

#### 5.3.1 土地利用分類と土地利用変化面積検討

GLC2003 の土地利用分類データに基づき、内蒙古全域を対象に 20 の土地利用分類ができ、その面積割合を図-5.1 に示した。

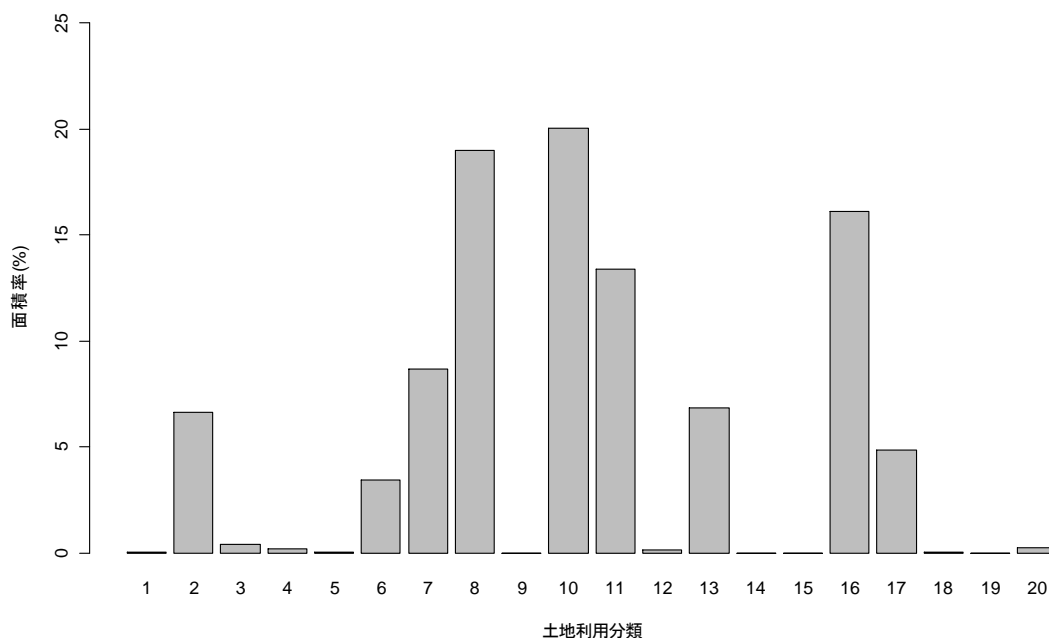


図-5.1 内蒙古自治区全域における土地利用分類とその面積割合(GLC2003 データに基づく)

表-5.1 GLC2003 に基づく土地利用分類

No.	略名	英語表記	日本語表記
2	BD	Broadleaf Deciduous Forest	広葉落葉林
3	NE	Needleleaf Evergreen Forest	常緑針葉林
4	ND	Needleleaf Deciduous Forest	針葉落葉林
5	MF	Mixed Forest	混交林
6	TO	Tree Open	低木林
7	Sh	Shrub	低木
8	He	Herbaceous	草本
10	SV	Sparse vegetation	まばらな植生
11	Cr	Cropland	耕作地
12	PF	Paddy field	水田
13	C/O	Cropland / Other Vegetation	耕作地及びその他の植生
16	Ba	Bare area,consolidated(gravel,rock)	裸地（砂利砂漠）
17	Ba	Bare area,unconsolidated (sand)	裸地（砂砂漠）
18	Ur	Urban	都市域
20	WB	Water bodies	水域

内蒙古自治区における土地利用の分類について第3章でも言及しているが、ここでは2000年以降の植生変動における検証を行うために、最新の土地利用データであるGLC2003を用いた。本章手法6では、さらにGLC2003のデータに基づき、20種のカテゴリから大きく4つ土地利用に分けて、検討を行った。表-5.1に示す20の土地利用区分を4つの土地利用に分けた内訳は、NO.2~7を森林に区分し、NO.8~10を草地に区分し、NO.11~13を農地に区分し、NO.16,17を裸地に区分する。

### 5.3.2 土地利用分類毎におけるNDVIのばらつき

GLC2003に基づく土地利用区分に対するGIMMS/NDVIシリーズ・データの2003年の年最大値 $NDVI_{max}$ との比較を図-5.2に示し、土地利用分類データとNDVIのばらつきを示した。赤枠内に示しているのは、土地利用区分で森林に区分される土地利用分類におけるNDVIのばらつきを表わす。緑枠内は、低木や草本から耕作地などの土地利用分類に対するNDVIのばらつきを表わす。青枠内に示しているのは、裸地におけるNDVIのばらつきである。最後に黄色線で囲む土地利用区分は、都市域及び水域に対するNDVIのばらつきを表わす。NDVIデータのみでは、植生分類が困難であるということがこの図-5.2に示されたNDVIのばらつき程度から判断できる。そのため、GLC2000 或いはGLC2003などの土地利用分類デ



ータは NDVI データ以外に、解像度の高い衛星画像データを利用している(Ryutaro Tateishi et al. 2008)。

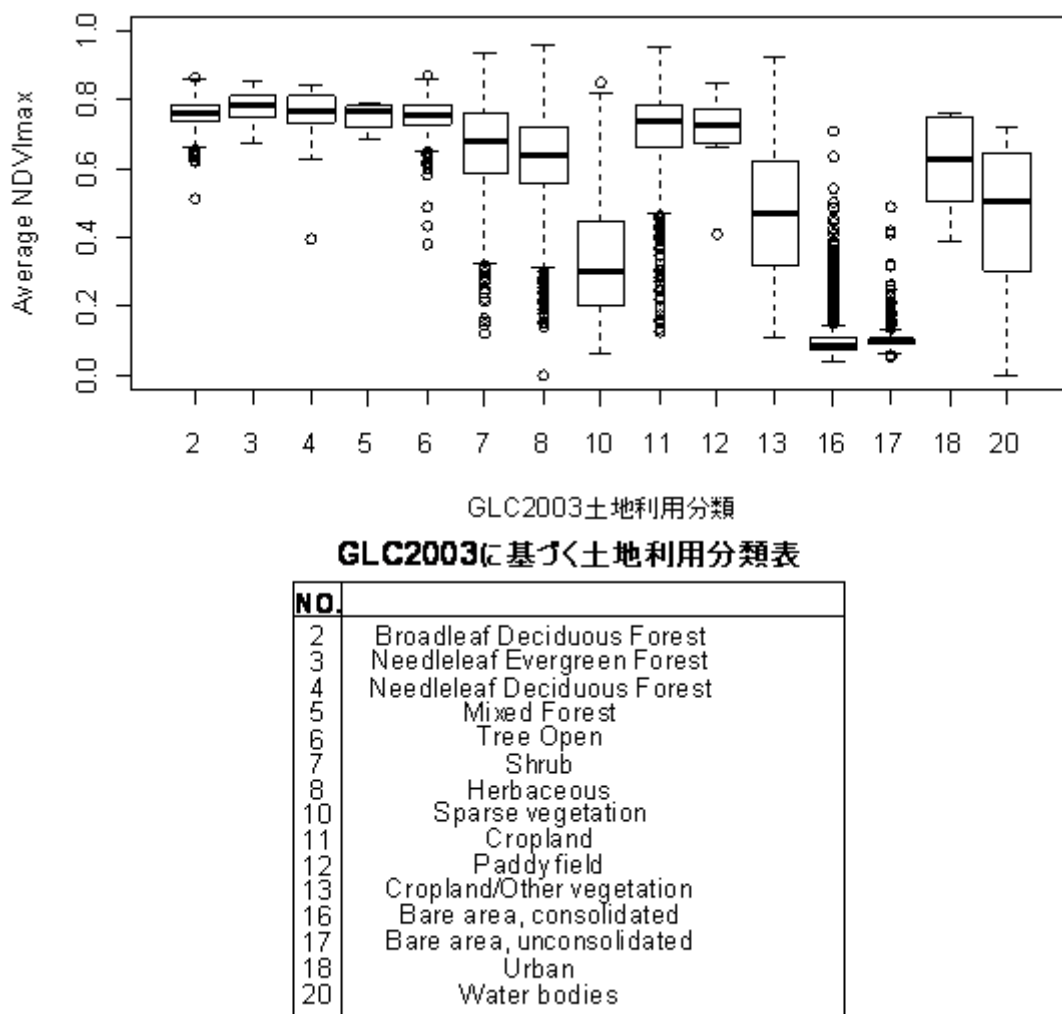


図-5.2 GLC2003 に基づく土地利用区分に対応する NDVI の「ばらつき」関係

NDVI の値の範囲は-1~1 に定義されるが、水域以外の土地利用においては NDVI の値が 0~1 の間で変動する。図-5.2 に示す通り、各土地利用によって NDVI のばらつきが異なることが分かる。ばらつきの大小の違いがあり、これにより NDVI データからは土地利用の分類を行った際に、図-5.2 中に示す草地や耕地などの土地利用が混在して、詳細に区分できない。一方で、森林域や裸地においては、示す通りばらつきが小さいため NDVI データからも他の土地利用より分類しやすいのである。本研究に用いる NDVI データ以外に GLC2003 の土地利用データを用いたのは、上述したように NDVI データから土地利用を詳細に分類できないため、土地利用データに基づいた分類を行い、分類毎の長期変動を検証した。

### 5.3.3 土地利用分類毎における NDVI 季節性

GLC2003 によって分類された土地利用毎の季節性を示すために GIMMS/NDVI(1982~2006)に基づき、各土地利用における NDVI 変動の季節性を図-5.3(a,b,c,d)に示した。図-5.3(a)では、土地利用毎に対する NDVI の年間変動を表わす。これにより、各土地利用の NDVI の季節性が見られた。

- ① 年間での NDVI ばらつきが大きいのは、どの土地利用においても 4~10 月期間である。
- ② どの土地利用においても、6~8 月の夏季における NDVI が大きく示され、植生における四季の季節性が明瞭であることが分かる。一方で、裸地においては、年間の季節性が見られず、年中 NDVI が 0.1 以下であることが分かる。

図-5.3(b,c,d)では、上記の土地利用における NDVI 季節変化を月毎の経年変化で表した図である。NDVI の各月における経年変化から各土地利用における NDVI の経年変化が示された。森林区分では、NDVI が上記の季節性が明瞭であり、各月の長期変動が見られた。土地利用毎における各月の NDVI 経年変化については、図-5.3(b,c,d)に検討を加えた。

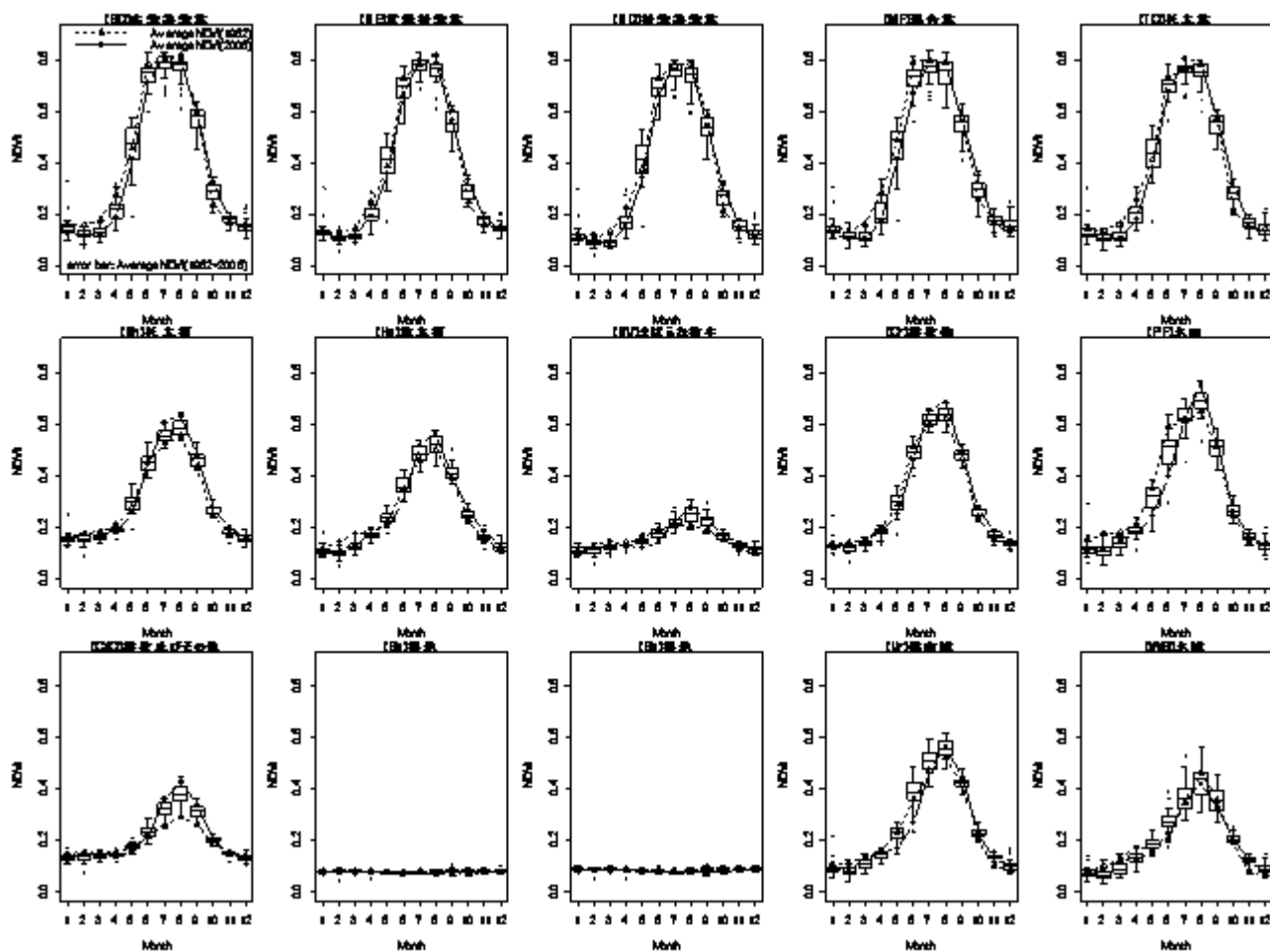


図-5.3(a) 土地利用毎の NDVI 年間季節性とばらつき変動

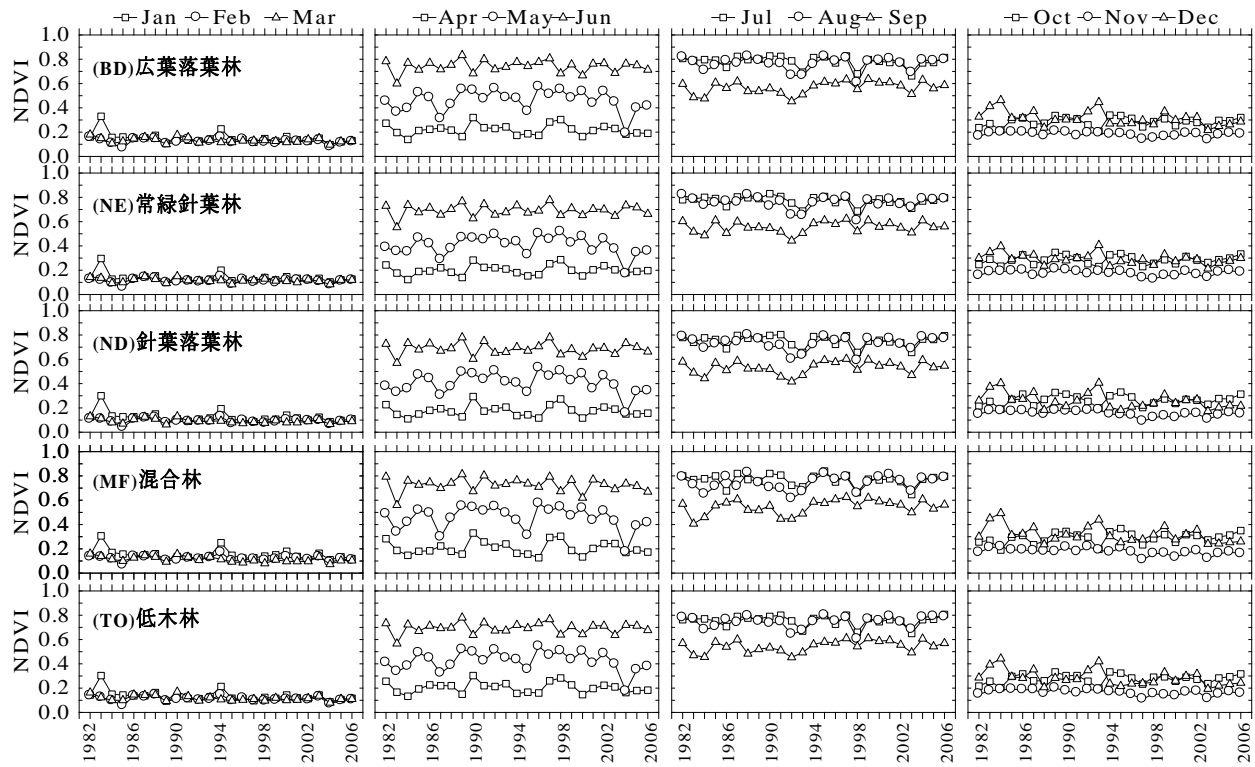


図-5.3(b) 土地利用毎の月毎の経年変化

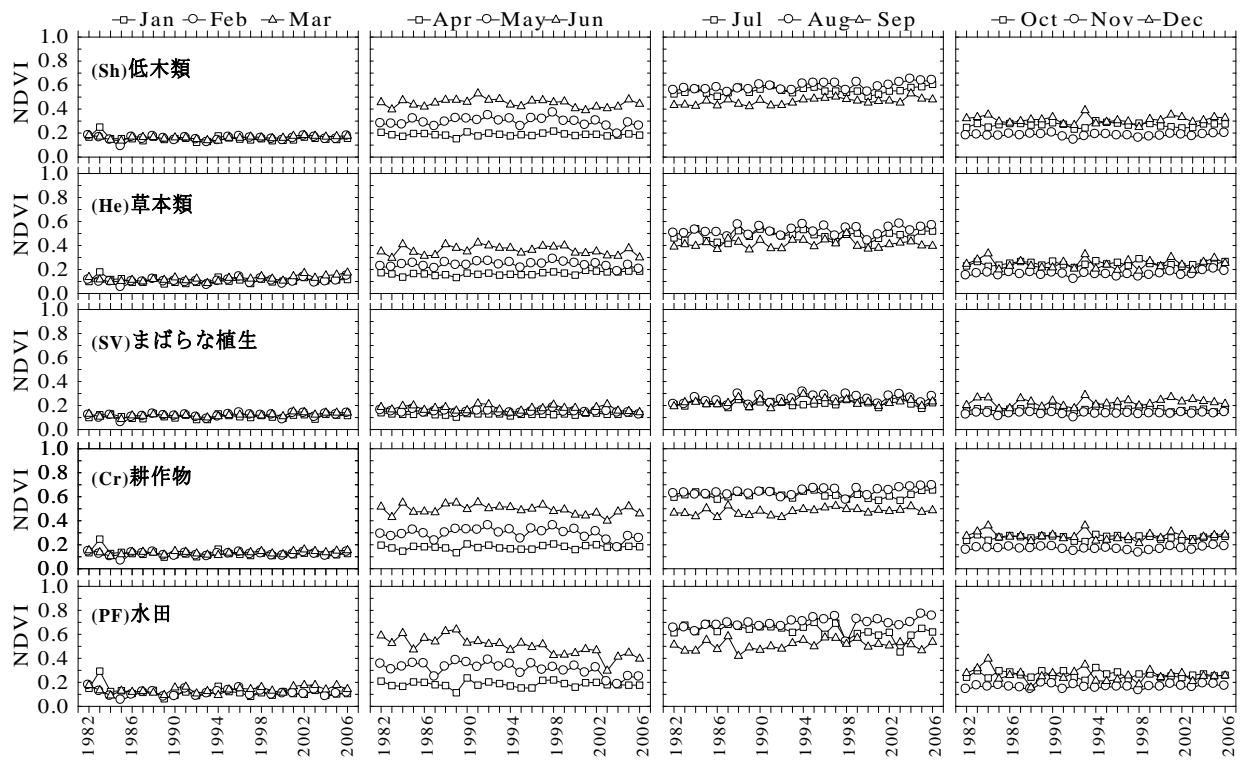


図-5.3(c) 土地利用毎の月毎の経年変化

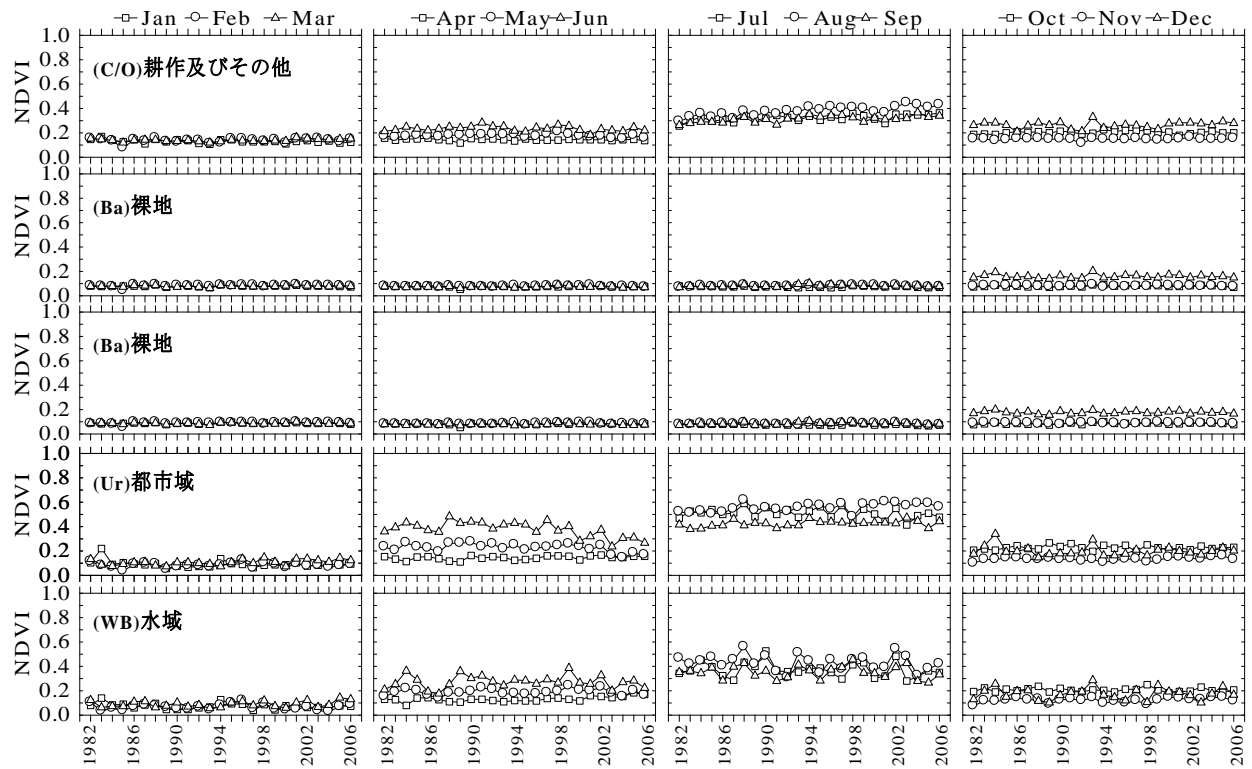


図-5.3(d) 土地利用毎の月毎の経年変化

### 5.3.4 行政区毎における $NDVI_{max}$ の経年変化対比

内蒙古自治区の12の行政区における  $NDVI_{max}$  年最大値の年平均値とその±標準偏差の経年変化から各行政区の1982~2006年の  $NDVI_{max}$  経年変動を図-5.4に示した。

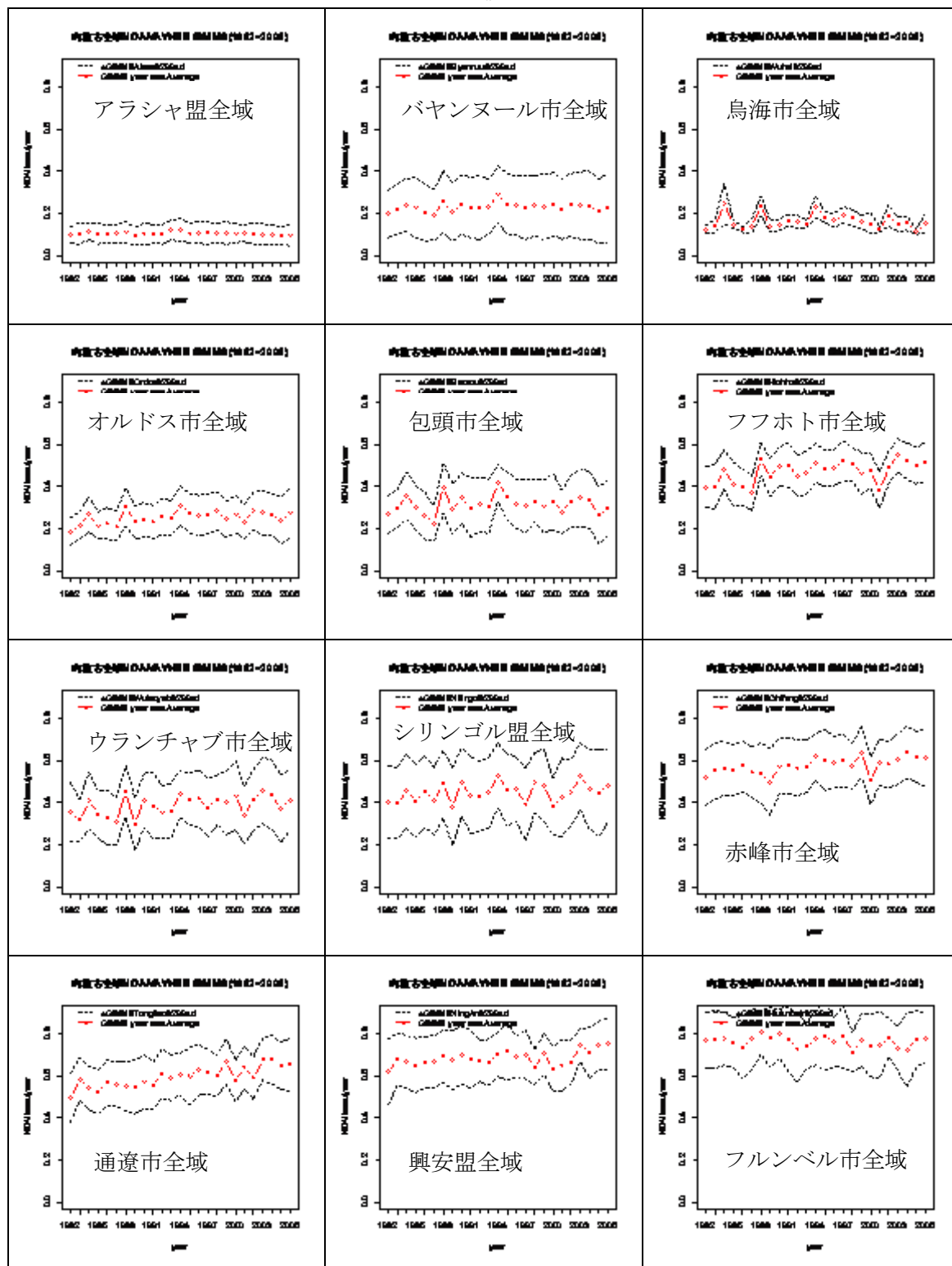


図-5.4 内モンゴル12の行政区における1982~2006年の  $NDVI_{max}$  年最大値の経年変化

図-5.4 に示す通り、多くの地域においては、 $NDVI_{max}$  の経年変化の増加傾向が見られる。中でも、赤峰市や通遼市全域の年平均の  $NDVI_{max}$  の経年変化の増加傾向が他の行政区に比較して顕著であり、1982 年における  $NDVI_{max}$  の初期の値が 0.5 程度であることが分かる。1982 年の  $NDVI_{max}$  の値が 0.5 を超える行政区は、赤峰市、通遼市、興安盟、フルンベル市となる東北の行政区に当たる。一方で、興安盟の  $NDVI_{max}$  の変動が全期間において増加傾向であるが、特に 2000 年以降の変動が顕著な増加傾向が示された。フルンベル市においては、全域の  $NDVI_{max}$  の平均値が 0.7 を超えるが、1982~2006 年までの長期に亘って年々変動が見られるものの、全期間を通して増減変動がないと見る。

他に  $NDVI_{max}$  の経年変化から全域において、変動が少ないと見られた地域は、アラシヤ盟、バヤンヌール市、烏海市、包頭市及びシリンドル盟に及ぶ。全域における  $NDVI_{max}$  の経年変化が顕著な増加傾向が示された地域は、オルドス市、フフホト市、ウランチャブ市、赤峰市及び通遼市、興安盟に当たる。

上記のような全域における  $NDVI_{max}$  の平均値から全域の平均的な変動が示されたが、植生劣化などによる  $NDVI_{max}$  の減少するトレンド情報が消され、検討されていないことになる。これにより、植生変動の詳細検討は  $NDVI_{max}$  の区分検討が必要となる。

### 5.3.5 4 地区及び 12 の行政区における $NDVI_{max}$ の時系列変動対比

図-5.5 には、4 地域における NOAA/AVHRR GIMMS(1982~2006)データを用いた  $NDVI_{max}$  の経年変化を示し、4 地域の植生変動を考察する。

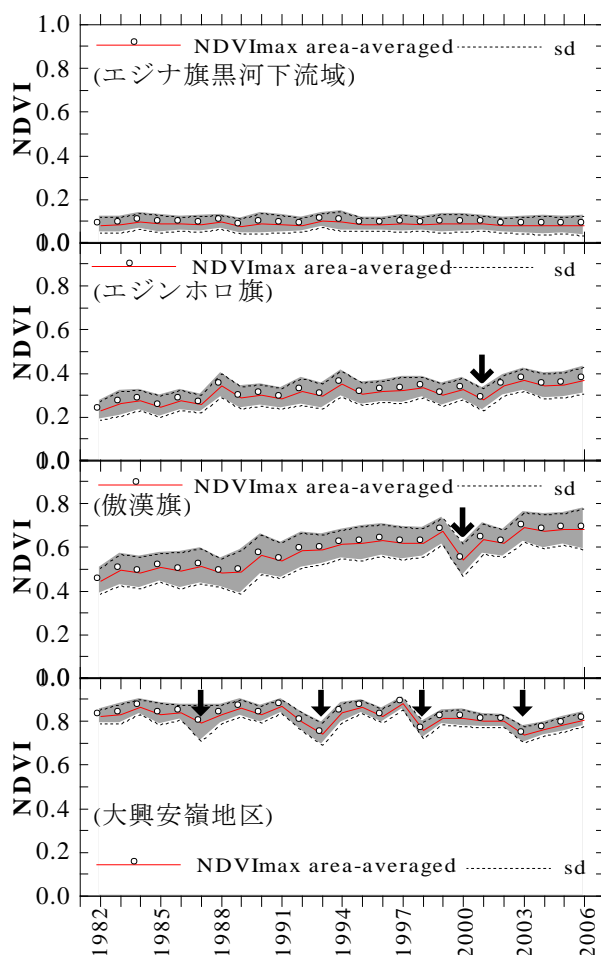


図-5.5 4 地域における年最大値  $NDVI_{max}$  の経年変化比較

第3章において、図-5.5に示す4地区においてAVHRR/PALデータで検討した結果、1982~1999年におけるオルドス市及び敖漢旗においては、 $NDVI_{max}$ の増加傾向が顕著であり、その地域における土地利用と対応した結果であると検証された。本章では、2000年以降のデータを用い、4地区における2000年以降の変動が示された。従って、図-5.5に示す通りエジンホロ旗及び敖漢旗においては、2000年以降も継続的な増加トレンドであることが確認された。一方で、エジン旗黒河下流域における $NDVI_{max}$ の経年変化は、2000年以降においても低い値が示され、植生変動のトレンドが見られない。

大興安嶺林地区においては、1987年・1993年・1998年と2003年の $NDVI_{max}$ が平年より顕著に低下していることがわかる。以上に示す年に関する資料調査から以下のような大規模な森林火災があったことが分かった。つまり、この $NDVI$ データに示されたシグナルが現地情報と一致していることが考えられる。大興安嶺林地区における大規模な森林火災の発生時期においては、図-5.5中に矢印で指す年に当たり、 $NDVI_{max}$ の低下トレンドが森林火災の発生した年と一致している。大興安嶺林地区における大規模な森林火災について以下の文献記述や報告がある。1987年の森林火災面積が133万ヘクタールに及ぶ大火災である(WangXuGao et al. 2005)。1998年5月13日に雷による森林火災が起き、火災面積が1.3万ヘクタールに及ぶ(張景廉 1998)。2003年3月下旬からの森林草原型火災が多数の箇所が発生し、40年ぶりに年度もっとも早い時期に発生した森林火災である(朱鈞 et al. 2003年4月16日)。

また、内蒙古全域の12の行政区における $NDVI$ の時系列変動をカテゴリ区分1982~1986, 1989~1993, 1995~1999, 2002~2006の4期間に分けて示したのは図-5.6である。図の左側に示したのは、内蒙古全域の面積に対する各行政区の $NDVI$ カテゴリ毎の面積率を示す。示した通り、 $NDVI$ カテゴリが0.0~0.1の範囲に当たる地域は、アラシャ盟が最も多い割合を占めていることが分かる。一方で、 $NDVI$ カテゴリが最も高く、その割合が多いのは東部のフルンベル市に当たる。右側に示したのは、各行政区における面積率で示した。最初に説明したように4期間(1982~1986, 1989~1993, 1995~1999, 2002~2006年)の $NDVI$ 面積率を棒グラフで示す。横軸は、各行政区の西部から東部に位置する順である(A:アラシャ盟, B:バヤンヌール市, Wu:烏海市, O:オルドス市, Bo:包頭市, H:フフホト市, W:ウランチャブ市, Xi:シリントル盟, C:赤峰市, T:通遼市, X:興安盟, Hu:フルンベル市)。示した通りに、西部から東部の順に並ぶ各行政区においては、 $NDVI$ カテゴリの変化が明瞭に区分されていることが分かる。

各カテゴリの4期間における面積率の変動傾向が明らかになった。それは、全体で言うと0.5~0.6, 0.6~0.7, の $NDVI$ カテゴリにおいては、フフホト市・ウランチャブ市・シリントル盟においては、1980年初期より2000年代初期にかけて継続的に面積率が増加している。カテゴリが0.7~0.8, 0.8~0.9においては、赤峰市・通遼市・興安盟に1980年代初期より2000年代初期にかけて継続的に面積率が増加している。興安盟においては、0.6~0.7の $NDVI$ カテゴリにおいては、2000年代初期の面積率が減少していることが分かる。上述した $NDVI$

のカテゴリ 0.5~0.9 における面積率の増加は、NDVI のカテゴリが低い方で、面積率が減少変化をした結果である。つまり、上述の地域においては NDVI が低い面積が減りつつ、NDVI の高い土地に変遷していると理解できる。この結果から、フフホト市・ウランチャブ市・シリングル盟・赤峰市・通遼市・興安盟における植生変動は 1980 年代初期より 2000 年代初期にかけて、植生被覆率が増加し、もともと植生被覆率が多い方からより良くなる傾向に転じ、土地利用の改善を示唆できる。西部のオルドス市やウランチャブ市・バヤンヌール市においてもその地域の NDVI カテゴリが高い方に増加傾向であるが、その面積率が低いことが分かる。また、この 3 地区においては 2000 年代初期に NDVI カテゴリの高い方で減少傾向が見える。つまり、この 3 地区においては、1990 年代末までに植生面積率が増加し、生態改善が考えられるが、その面積率も小さい上、2000 年代初期に植生面積率が減少し始めた。一方で、内蒙古自治区の最西部となるアラシャ盟においては、NDVI カテゴリが 0.0~0.2 の範囲であり、0.0~0.1 のカテゴリの面積率が増加し、0.1~0.2 のカテゴリの面積率が減少傾向である。つまり、アラシャ盟においては、もともと沙漠分布面積が多く、裸地地帯が大割を占め、0.1~0.2 の NDVI カテゴリの面積率が減少傾向は、更なる土地劣化を示唆する。



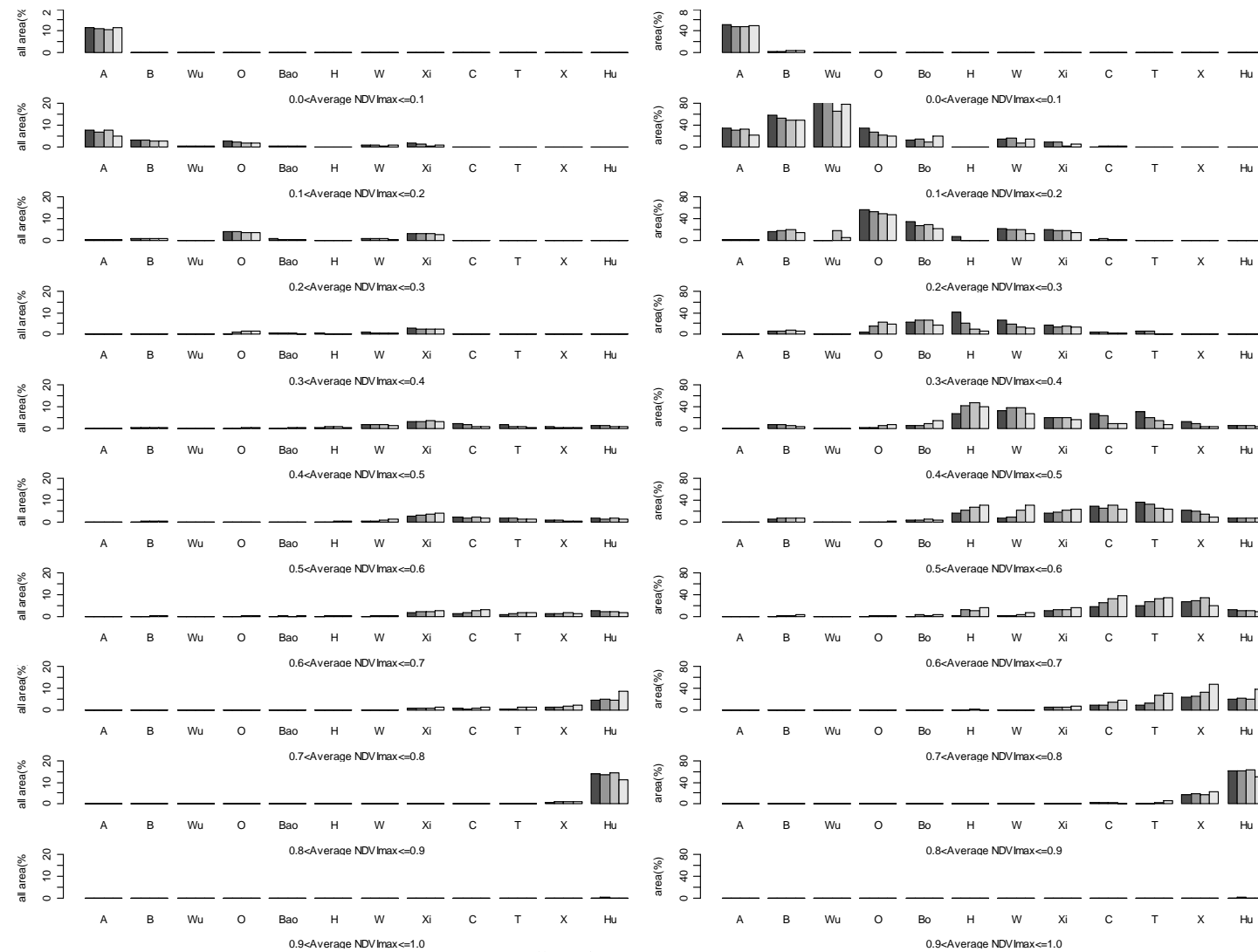


図-5.6 4 期間における内蒙古自治区行政区毎の NDVI 年平均面積率比較

### 5.3.6 行政区毎における 1980 年代前半の NDVI 区分毎の NDVI 経年変化

1982~1986 年の各年の  $NDIV_{max}$  値からこの 5 年平均の NDVI をカテゴリ分け, カテゴリ毎の NDVI 経年変化を行政区毎に表す。これによって, 1980 年代初期の NDVI カテゴリから 1990 年代, 2000 年代までの 25 年間の NDVI 変化の特性を捉えることができる。これにより, 各地域の NDVI 変化の過程から植生変動の実態を知る。図-5.7 は 行政区毎における 1980 年代前半の NDVI 区分毎の NDVI 経年変化と 25 年の直線回帰から求めた傾き値及び面積率を示し, 図-5.7 は, 土地利用データに基づき, 草地に分類された土地利用の NDVI 経年変化と 25 年の直線回帰傾き値及び面積率を示す。

図-5.7 は, 内蒙古自治区 12 の行政区における 1982~1986 年  $NDVI_{max}$  の平均値を 0.1 刻みで区分し, 区分毎の  $NDVI_{max}$  のトレンド経年変化をまとめた。また, 図-5.7 に区分毎における  $NDVI_{max}$  のトレンドに対し, 1982~2006 年の 25 年の直線回帰を行い, 傾き値求め, 色分けで示した。色分けは以下に示す傾き値の大小で区分した。

傾き区分	色分け
<b>-0.0015&gt;</b>	赤色
<b>-0.0015&lt;傾き値&lt;0.002</b>	白色
<b>0.002&lt;傾き値&lt;0.006</b>	青
<b>0.006&lt;傾き値</b>	緑

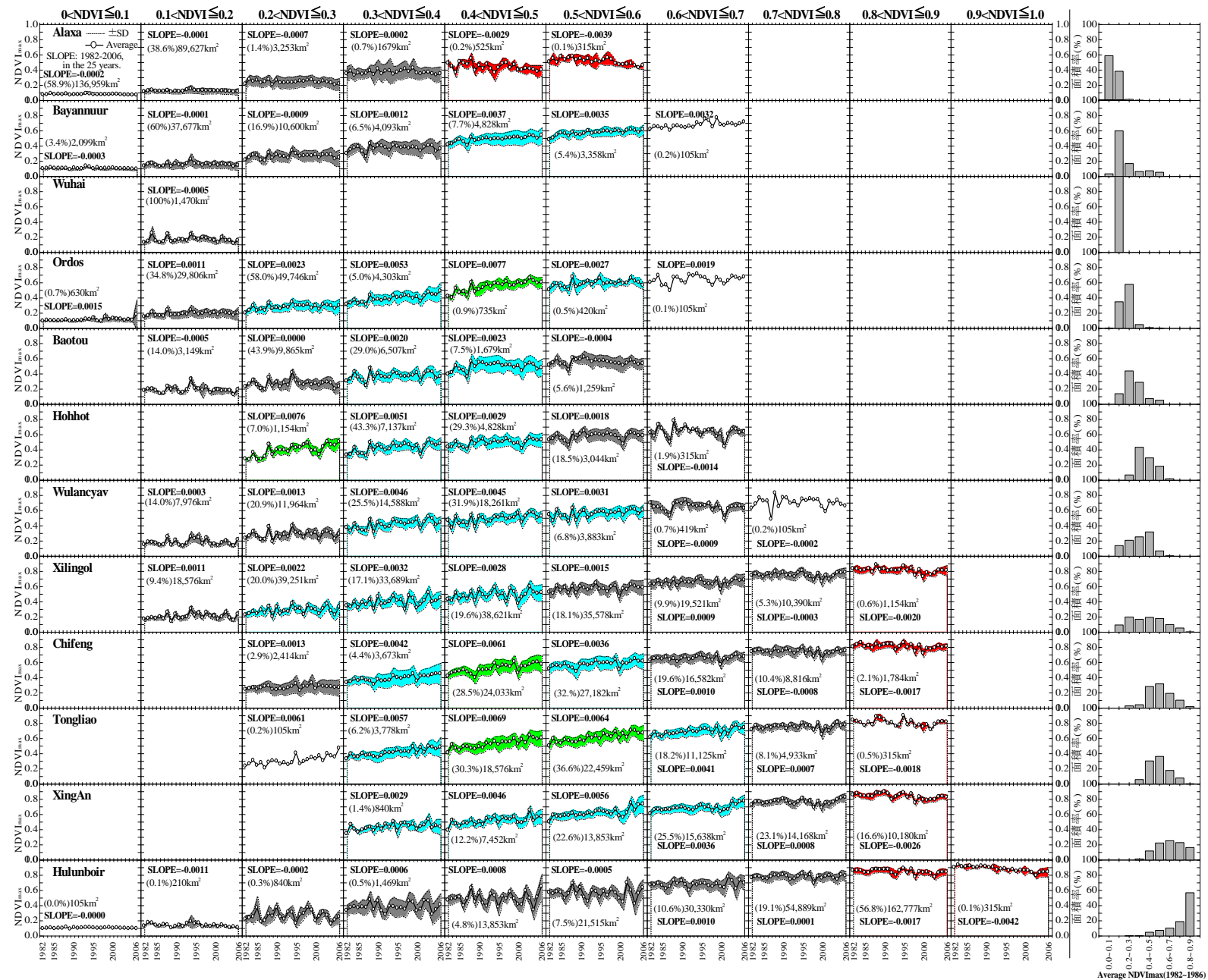


図-5.7 行政区毎における 1980 年代前半の NDVI 区分毎の NDVI 経年変化 (棒グラフは NDVI 区分毎の面積率を示す)

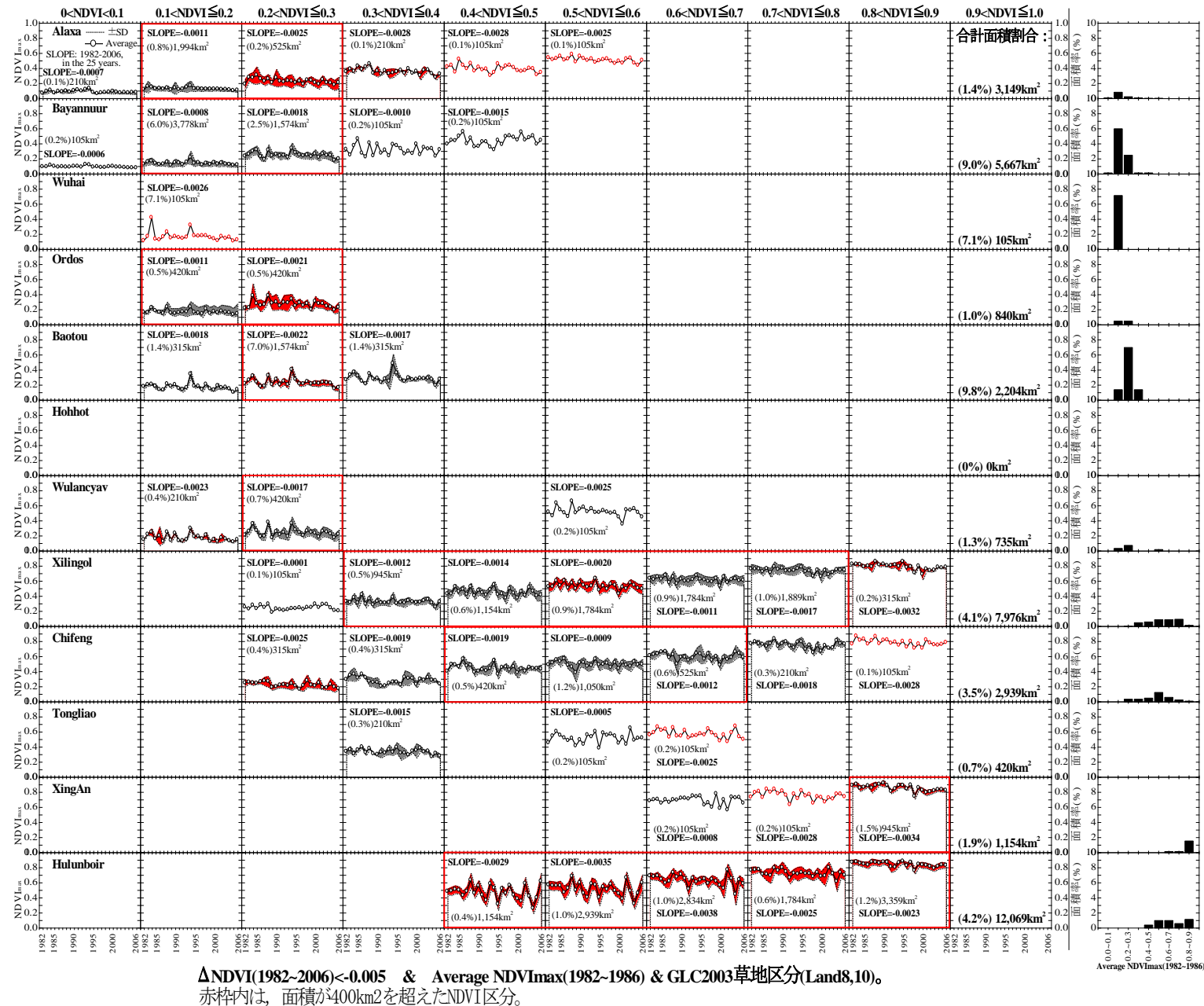


図-5.8 行政区毎における草地区分に対する 1980 年代前半の NDVI 区分毎の NDVI 経年変化 (棒グラフは NDVI 区分毎の面積率を示す)

5.3.6.1 行政区毎における  $NDVI_{max}$  の「傾き」考察

表-5.2 に示す「傾き」値は、行政区毎における 1980 年代初期の  $NDVI_{max}$  に対し、0.1 刻み区分を行い、各区分の  $NDVI_{max}$  に対して直線回帰を行った「傾き」値である。 $R^2$  値は、区分毎の  $NDVI_{max}$  に対する傾きの相関係数である。「傾き」値が大きいほど、 $NDVI_{max}$  経年変化の増加傾向が大きいことを示す。「傾き」値が負を示す区分においては、その区分における  $NDVI_{max}$  の経年低下トレンド傾向性を示す。

表-5.2 12 の行政区における  $NDVI$  区分毎の 1982~2006 年の  $NDVI$  経年変化の「傾き」と相関係数

NDVI		0.0~0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.8	0.8~0.9	0.9~1.0
アラシャ盟	傾き	-0.0002	-0.0001	-0.0007	0.0002	-0.0029	-0.0039				
	$R^2$	-0.2462	-0.0777	-0.2464	0.0407	-0.4405	-0.7146				
バヤンヌール市	傾き	-0.0003	-0.0001	0.0009	0.0012	0.0037	0.0035	0.0032			
	$R^2$	-0.2614	-0.0348	0.2015	0.2395	0.7897	0.7806	0.5925			
烏海市	傾き		-0.0005								
	$R^2$		-0.0966								
オルドス市	傾き	0.0015	0.0011	0.0023	0.0053	0.0077	0.0027	0.0019			
	$R^2$	0.5461	0.3318	0.4880	0.7940	0.8267	0.4759	0.2647			
包頭市	傾き		-0.0005	0.0000	0.0020	0.0023	-0.0004				
	$R^2$		-0.0987	0.0007	0.2945	0.3308	-0.0868				
フフホト市	傾き			0.0076	0.0051	0.0029	0.0018	-0.0014			
	$R^2$			0.7504	0.6261	0.4872	0.2819	-0.1529			
ウランチャブ市	傾き		0.0003	0.0013	0.0046	0.0045	0.0031	-0.0009	-0.0002		
	$R^2$		0.0474	0.1857	0.6067	0.5929	0.4731	-0.1296	-0.0247		
シリントゴル盟	傾き		0.0011	0.0022	0.0032	0.0028	0.0015	0.0009	-0.0003	-0.0020	
	$R^2$		0.2031	0.3384	0.4076	0.3445	0.2660	0.2009	-0.0652	-0.4294	
赤峰市	傾き			0.0013	0.0042	0.0061	0.0036	0.0010	-0.0008	-0.0017	
	$R^2$			0.3775	0.7889	0.7724	0.6294	0.2564	-0.1752	-0.3801	
通遼市	傾き			0.0061	0.0057	0.0069	0.0064	0.0041	0.0007	-0.0018	
	$R^2$			0.7439	0.8572	0.8793	0.8523	0.7047	0.1426	-0.3048	
興安盟	傾き				0.0029	0.0046	0.0056	0.0036	0.0008	-0.0026	
	$R^2$				0.4760	0.6418	0.7263	0.6398	0.1617	-0.5111	
フルンベル市	傾き	-0.0000	-0.0011	-0.0002	0.0006	0.0008	-0.0005	0.0010	0.0001	-0.0017	-0.0042
	$R^2$	-0.0201	-0.3737	-0.0280	0.0771	0.0784	-0.0557	0.1890	0.0294	-0.4194	-0.9017

## まとめ：

1. どの地域においても NDVI 変動は NDVI 区分 0.2~0.6 のカテゴリに傾き値が大きく、NDVI 経年変化が増加傾向であることが分かる。
2. 赤色で傾き値を塗っているカテゴリ区分は、NDVI が 0.8 以上の区分に生じている。
3. 緑色で示している傾き値が 0.006 以上であり、最も NDVI が増加傾向を示すトレンド変化は、オルドス市及びフフホト市・赤峰市・通遼市にある。

表-5.2 内に緑色で示しているのは、傾きの値が 0.006~0.008 範囲であり、1982~2006 年における NDVI 経年変化の傾きが最も大きく増加傾向であることを示す。行政区区分で見るとオルドス市、フフホト市、赤峰市、通遼市となる。オルドス市は 1982~1986 年の年平均  $\text{NDVI}_{\text{max}}$  が 0.4~0.5 カテゴリでの増加傾向（面積割合 0.86%，735km<sup>2</sup>）である。フフホト市は 1982~1986 年の年平均  $\text{NDVI}_{\text{max}}$  が 0.2~0.3 カテゴリでの増加傾向（面積割合 7.01%，1,154km<sup>2</sup>）である。

赤峰市は 1982~1986 年の年平均  $\text{NDVI}_{\text{max}}$  が 0.4~0.5 カテゴリでの増加傾向（面積割合 28.32%，23,929km<sup>2</sup>）である。通遼市は 1982~1986 年の年平均  $\text{NDVI}_{\text{max}}$  が 0.4~0.5 カテゴリでの増加傾向（面積割合 30.14%，18,471km<sup>2</sup>）である。

表-5.2 内に水色で示しているのは、傾きの値が 0.002~0.006 範囲であり、1982~2006 年における NDVI 経年変化の傾きが次いで大きく増加傾向であることを表す。赤色で示しているのは、傾きの値が -0.0015 より小さい範囲を示し、1982~2006 年における NDVI 経年変化が顕著に減少傾向であることを示す。このような NDVI 減少傾向である地域はアラシャ盟（面積割合 0.36%，839km<sup>2</sup>），シリングル盟（面積割合 0.59%，1,154km<sup>2</sup>），興安盟（面積割合 16.39%，10,180km<sup>2</sup>）及びフルンベル市（面積割合 0.11%，315km<sup>2</sup>）に及ぶ。NDVI 経年変化が大きく減少傾向が生じたのはもともとの NDVI カテゴリがこれらの地域の最も上のカテゴリに生じていることが分かる。

以上の  $\text{NDVI}_{\text{max}}$  の区分毎における直線回帰から求められた傾き値の解析から、各行政区における  $\text{NDVI}_{\text{max}}$  の 1982~2006 年の 25 年の  $\text{NDVI}_{\text{max}}$  の経年変化の傾き変動が見られ、各行政区の NDVI 変化の特性が得られた。このように NDVI の時系列での変化パターンから各地域の植生変化を解釈できる知見が得られた。特に、このような解析から NDVI の長期低下トレンドを特定でき、もともとどのような土地利用において植生劣化が生じたかを考察できた。

### 5.3.6.2 4 地区区分毎における $NDVI_{max}$ の「傾き」考察

以下に示す4地域における1980年代初期の  $NDVI_{max}$  カテゴリ毎の経年変化とその  $NDVI_{max}$  のトレンド傾きから地域毎の特性が見られる。図-5.5に4地域における  $NDVI_{max}$  の平均値の経年変化を示したが、ここでは更に  $NDVI_{max}$  の0.1刻み区分における  $NDVI_{max}$  の経年変化を解析することによって、4地域の  $NDVI$  変化の実態とその詳細が明らかになった。

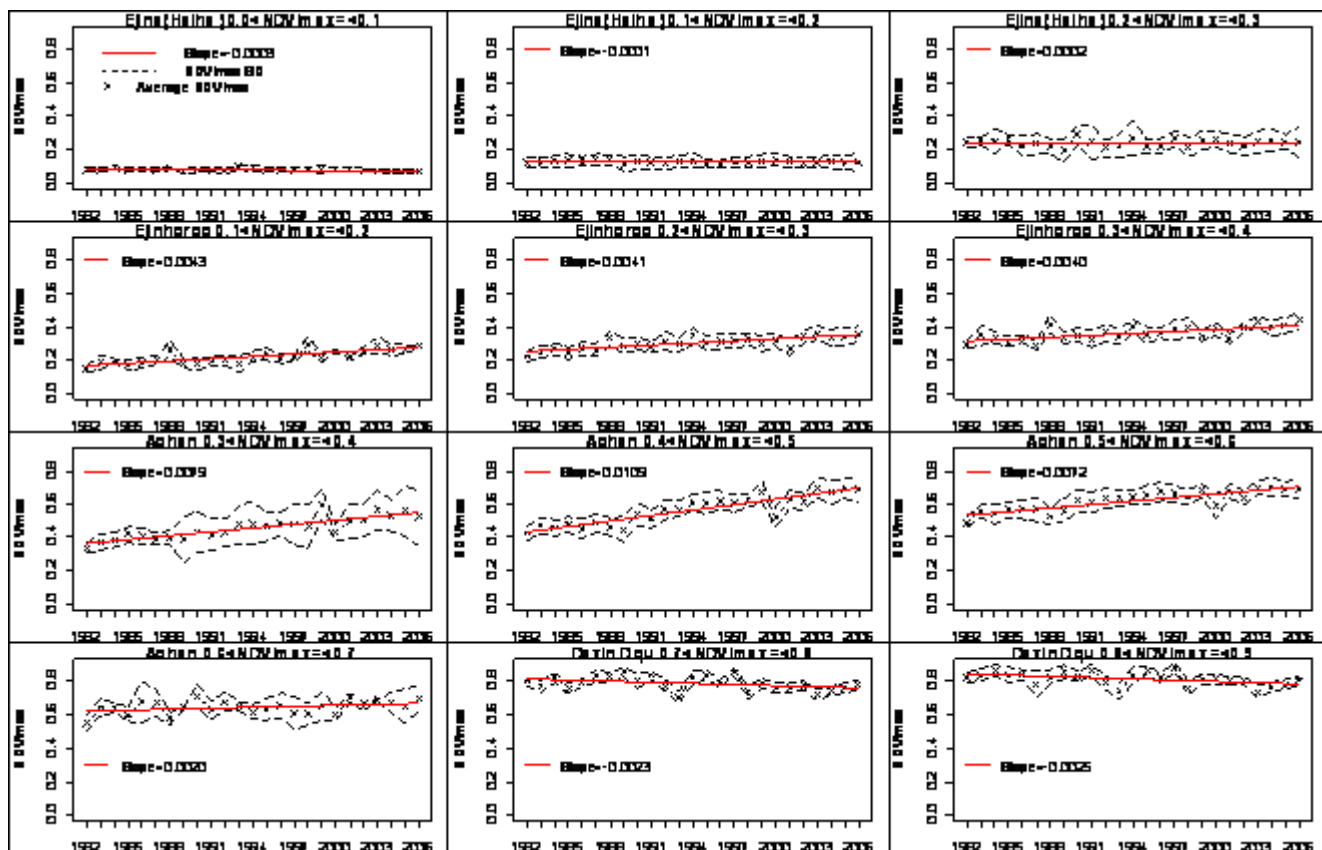


図-5.9 4地域における1980年代初期の  $NDVI_{max}$  カテゴリ毎の  $NDVI$  経年変化対比

表-5.3 4地域におけるNDVI区分毎の1982~2006年のNDVI経年変化の「傾き」と相関係数

地名	NDVI	0.0~0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.8	0.8~0.9	0.9~1.0
エジナ旗	傾き	-0.0003	-0.0001	0.0002							
黒河下流域	R <sup>2</sup>	-0.2998	-0.1312	0.0530							
エジンホロ旗	傾き		0.0044	0.0041	0.0039						
	R <sup>2</sup>		0.7823	0.7972	0.7047						
敖漢旗	傾き				0.0079	0.0109	0.0072	0.0020			
	R <sup>2</sup>				0.8758	0.9141	0.8814	0.3665			
大興安嶺林地区	傾き								-0.0023	-0.0025	
	R <sup>2</sup>								-0.4061	-0.4627	

4地域において、 $NDVI_{max}$ の0.1刻み区分の経年トレンドの傾き値が大きいのは敖漢旗とエジンホロ旗であり、傾き値と25年の $NDVI_{max}$ の相関が0.7より大きく示され、 $NDVI_{max}$ の年々増加傾向が強いことが示された。特に、敖漢旗における0.4~0.5の区分において、傾き値が0.01を超え、その相関係数が0.9以上であり、一直線の増加傾向である。一方で、エジナ旗黒河下流域及び大興安嶺林地区において、各 $NDVI_{max}$ 区分の傾き値が負である。大興安嶺林地区におけるもとの $NDVI_{max}$ が0.7を超え、もともと森林分布が多く、植被率の高い地域であるが、 $NDVI_{max}$ 経年トレンドが低下傾向であることが示された。

### 5.3.6.3 まとめ

第3章と第4章で明らかになった内蒙古自治区の植生変化が、もともとどのような植生のところで生じたか、内蒙古自治区12の行政区毎に植生・土地利用データセットを加えて土地利用区分毎の植生変動の実態を明らかにした。特に、統計資料との対比ができなかった植生が減少した地域について詳しい検討を行った。

内蒙古自治区全体について衛星データのNDVIから見ると、1980年代前半から2000年代半ばにかけて全般的に植生が増加しているが、もともと植生が乏しいところ( $NDVI < 0.2$ )と、植生が豊かなところ( $NDVI > 0.7$ )は植生の増加はほとんど見られず、植生増加がみられたのは、1980年代前半のNDVIが0.2~0.7の草地と農地である。行政区別にみると、乾燥地である西部のアラシャ盟では、全般に植生増加は見られず、アラシャ盟としては植生の多い $NDVI > 0.4$ のところで植生の減少が示された。その他の行政区では、NDVIが0.2~0.7で植生増加があり、植生減少の可能性のあるのは $NDVI > 0.7$ の比較的植生の豊かなところである。アラシャ盟と烏海市を除くと、内蒙古自治区ではもともとある程度の植生が存在した地域で、草地における植生増加と農地化が進んだことが明らかとなった。

一方、第3章と第4章で論じていなかった植生が減少したところの評価について、植生・



土地利用データセットによって、NDVI が減少したところを植生別に区分した。その結果、NDVI が減少した植生は主に草地として区分された土地である。そのうち、面積割合としては小さいものの行政区毎に 400km<sup>2</sup> 以上で草地の NDVI が減少したとされたところは、アラシャ盟、オルドス市、包頭市、シリングル盟、フルンベル盟などに見られた。内蒙古自治区ではアラシャ盟を除き、最近 30 年間は植生が増加する傾向が顕著であるが、その他の行政区でも部分的に植生が減少する地域が存在することが明らかとなった。これらの地域では、砂漠化の進行及び不適切な土地利用の可能性が示唆される。なお、フルンベル盟など東部において、もともと森林である NDVI>0.7 の地域で 2000 年以降 NDVI が減少傾向にあることについて、何らかの植生の劣化であるか、NDVI データセットに残されているデータ処理上の特性であるか、判断材料がなく、本研究で植生変化の実態に言及することはしなかった。

### 5.3.7 NDVI 区分毎の季節変化

中国の北方領域の大興安嶺林山脈地帯では大規模な森林域が分布する。しかし、近年では地球温暖化により植生が活性化され、展葉期間が延びる季節変化をもたらしていると報告されている(WuRuiFen 2009)。展葉期間が延びる現象により NDVI にも経年変化が生じる可能性があり、第3章や4章に大興安嶺林地区を対象地とし、4月と10月のNDVI経年変化について検討を行った。ここでは、さらに GLC2003 土地利用データに基づき、もっと詳細に土地利用毎における季節毎の経年変動があるかを調べた。手法は、図-5.7 から図-5.9 に示したように NDVI 経年(1982~2006 年)トレンドの傾き (SLOPE) を求め、その対比を行う。まず、GLC2003 の土地利用分類データを用いて内蒙古全域において土地利用分類を行う。次に土地利用毎の NDVI 経年変動から 1982~2006 年のトレンドの傾きを求める。ここでは、GIMMS/NDVI の 15day のデータを利用するため、月（上旬，下旬）分けて検討を行った。

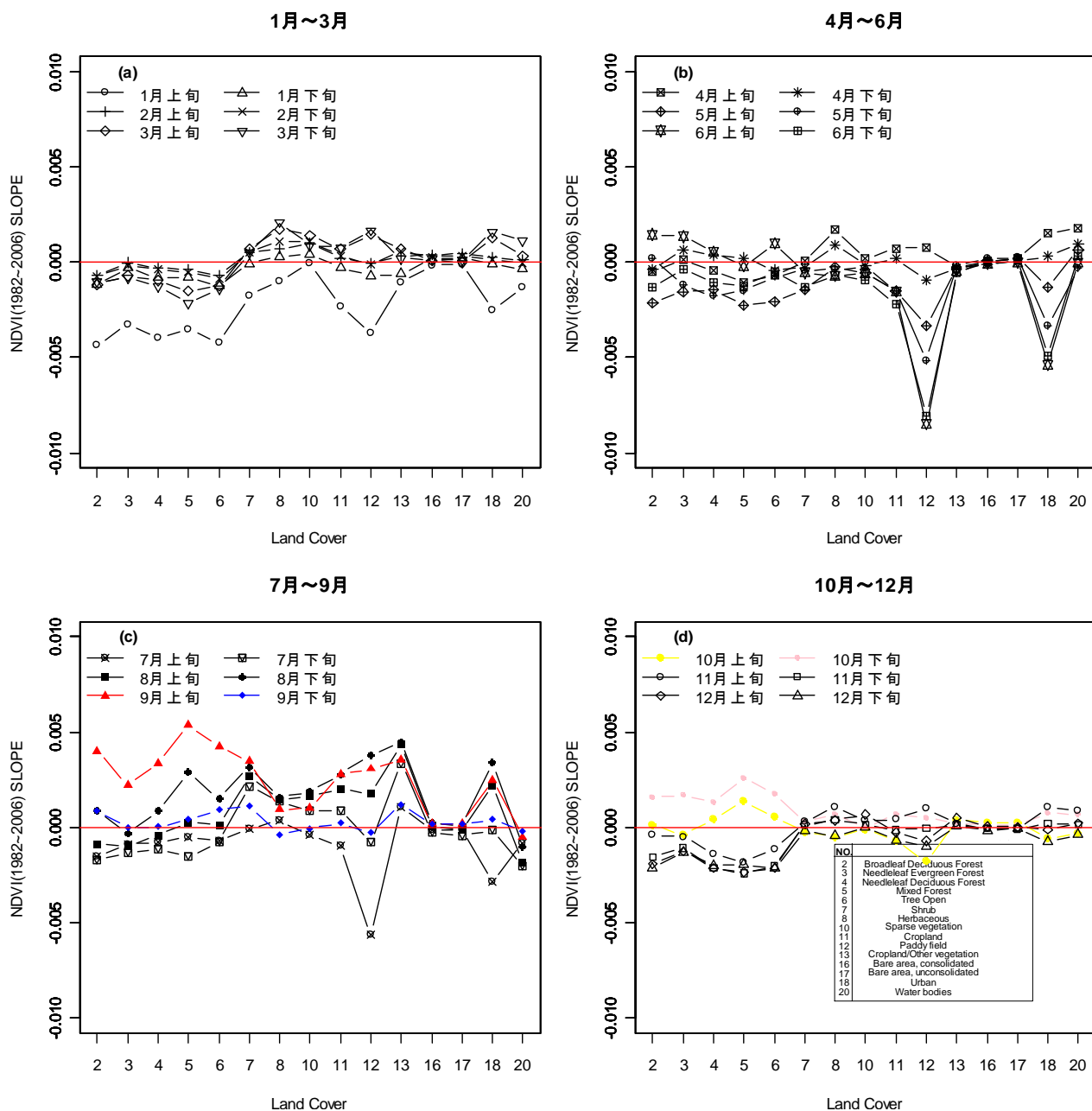


図-5.10 土地利用毎における 1982~2006 年の月毎の NDVI の経年変動の傾き比較

図-5.10(a,b,c,d)は、X 軸に土地利用分類を示し、Y 軸に土地利用毎における 1982~2006 年の NDVI 経年トレンド傾き (SLOPE) を月 (上旬, 下旬) で表わした図である。図-5.10(a)に示したように、1 月上旬の NDVI トレンドの傾きが裸地類を除けばどの土地利用においても傾きの値がマイナス傾向が大きいことが示された。1 月上旬の時期においては、図-5.3(a)に示されたように年間では NDVI 最も低く、冬の季節に当たり、植生の落葉時期でもある。しかし、上記のように 1 月上旬の NDVI トレンドにマイナス傾向が示されたのは、冬季の積雪影響或いは衛星データの性質によるものであると考えられる。このような影響を受けたのは X 軸に示す 2~6 の森林類にマイナス傾向が大きいことが分かる。また、X 軸で 12 (水

田)にもマイナス傾向が他に比べて大きい。水田においては図-5.10(b,c)に示された5月及び7月上旬にもマイナスの傾き値が大きい。その要因としては、GLC2003に分類された水田類が1980年代に水田類ではなく、この20年間に於いて他の土地利用から水田に変遷した可能性があると考えられる。NDVIの特性から考えるとNDVIが低下することは、植生の被度が小さくなることを意味すると考えられる。また、内蒙古全域において、水田の面積率が全域の1%を満たないことが図-5.1に示された。6月のNDVI低下は、水田の土地利用から都市域或いは水田の拡大という2つの可能性が考えられる。これにつきましては、分解能の高い衛星画像などによる解析が必要である。また、他の土地利用において傾き値がマイナス傾向があったのは、図-5.10(b,c)に示されたX軸18(都市域)に5、6月及び7月上旬にマイナス傾向が大きくなっていることが分かる。

図-5.10(a,b)に示した3月から4月の期間においては、顕著なトレンド傾向が見られなかった。第3章では大興安嶺林地区におけるNDVIの季節毎の経年変動から4月の経年変化が上昇傾向であると示され、植生の活性化による影響であると考察した。その影響がこの図に示した4月の変動傾向に見られなかったのは、対象とする地域によるものであると考えられる。ここに示す対象地域は、内蒙古全域における土地利用分類であり、すなわちその平均的な変動傾向を意味する。

図-5.10(c)では、上述した水田において8月から9月上旬の期間におけるNDVIのトレンド傾向がプラス傾向であることが分かる。7~9月の期間においては、他の土地利用分類にも、傾きの値がプラス傾向で大きく示された。特に、低木から草地・農地に及ぶ土地利用においてプラスの変動傾向が大きい。森林においては、混交林に限って8月の下旬のNDVIがプラス変動である。特に森林に区分された土地利用に限って、9月上旬と図-5.10(d)10月下旬のNDVIトレンドにプラスの傾き値が大きいことが示された。これは、第3章に言及した10月のNDVI変動が気候変動の影響があると考えられる。また、この図に示す対象地域は内蒙古全域を対象としているため、もしそうであれば内蒙古全域における森林の落葉期間が延びている可能性もあると考えられる。第4章の図-4.10に示した呉らの研究では、ポプラの樹種を対象とした研究からは、内蒙古全域において4月と10月の展葉期間と落葉期間が延びている報告されている(WuRuiFen 2009)。

図-5.10(d)では、10月~12月の期間においては、森林以外の土地利用のNDVIの経年変動の傾きがほぼ変わらないと見なす。森林に分類される土地利用においては、マイナスの傾向が示されたが、前述したように冬季においては、積雪或いは他の要因があると考えられる。

以上に記述したように、図-5.10(a~d)の解析結果から各種の土地利用におけるNDVIの季節毎の経年変動が示唆できた。森林においては、10月の期間トレンド変化が抽出され、他の土地利用においては、夏季におけるNDVIトレンド変化が増加傾向であると抽出された。

### 5.3.8 $\Delta$ NDVIに基づく土地利用分類毎の面積変化

図-5.11 に示したのは、内モンゴ全域における土地利用毎の植生変動の面積集計を表わした結果である。図-5.11 に示す土地利用分類については、表-5.1（GLC2003に基づく土地利用分類）を参照する。図-5.11 の上段に示したのは、 $\Delta$ NDVI の閾値を $>0.05$  に基づく結果を示し、中段は $<-0.05$  に基づき、下段は $<-0.005$  に基づいて面積集計した結果である。

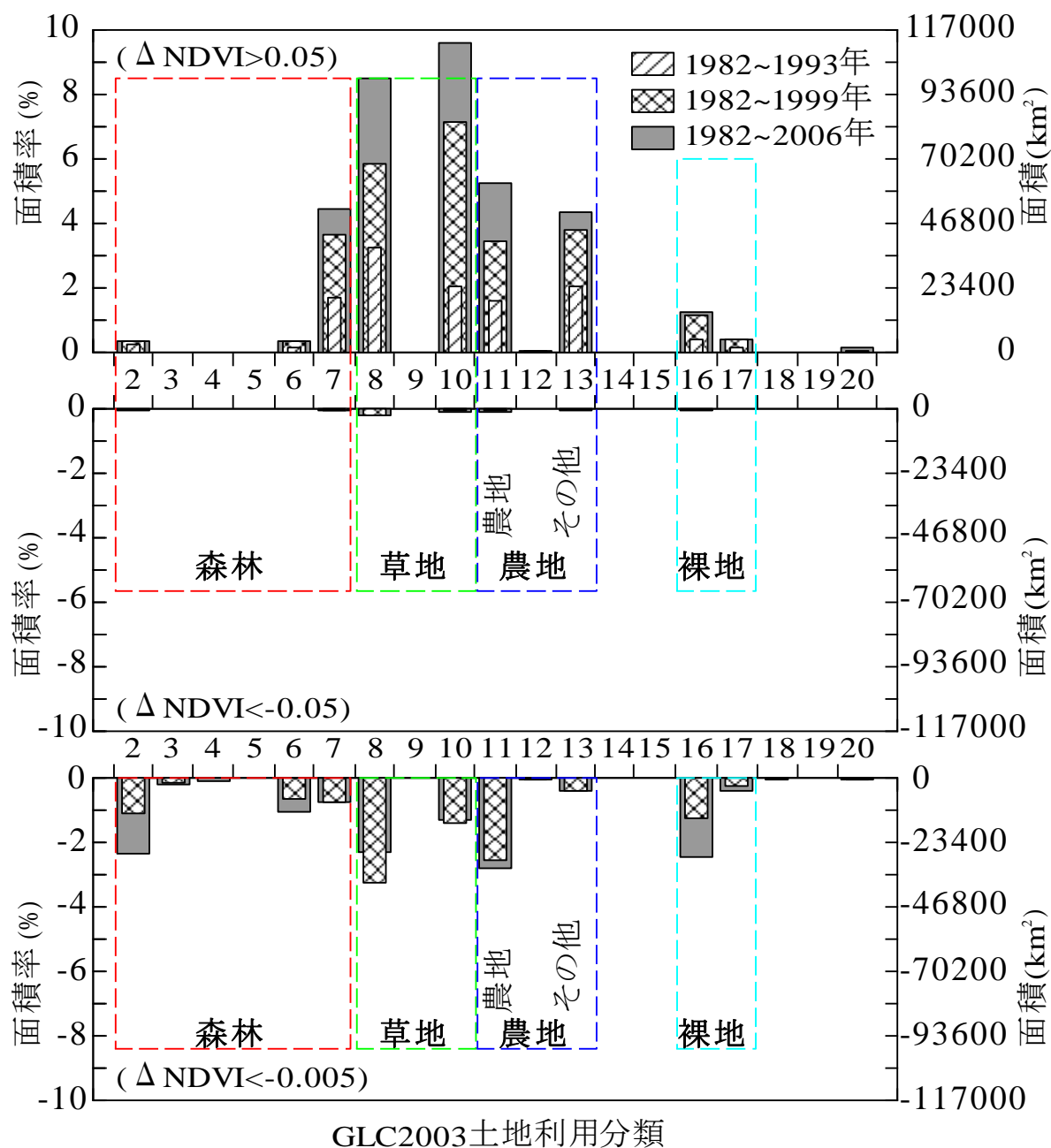


図-5.11 内蒙古自治区全域における土地利用分類毎の NDVI 面積変化比例

この図-5.11 により示された結果を以下のようにまとめた。

- ① 閾値を $>0.05$  で抽出された面積割合が下段に示す NDVI の負の変動面積より大きいことが分かる。土地利用毎に増加が示されたのは、草地に分類された土地利用において、植生増加が大きいと判断する。行政区毎に分けてみると図-5.12 に示した結果から包頭市、ウランチャブ市及びシリングル盟において、草地の増加面積が大きいと分かる。一方で、図-5.11 の下段に示された $<-0.005$  での面積割合から、草地におけるマイナス変動の面積割合も大きいことが示された。行政区毎の比較からみると図-5.12(b)に示す結果から、バヤンヌール市、オルドス市、包頭市、シリングル盟及びフルンベル市において草地のマイナス変動の面積割合が他の土地利用に比較して大きいことが示された。
- ② 次に土地利用の変動が大きいのは農地に分類される土地利用である。農地においても植生が増加された面積割合が減少された面積より大きく示された。行政区毎に見ると、オルドス市、フフホト市、赤峰市、通遼市及び興安盟における農地の増加割合が大きい。一方で、農地における植生減少の面積割合が小さいが、オルドス市、フフホト市、赤峰市、興安盟及びフルンベル市に及んだ。
- ③ 次に植生増加が大きいのは、森林に区分された土地利用である。特に低木類(Shrub)における植生増加面積が大きいことが分かる。一方で、森林における植生減少の面積も大きく、その内訳をみると広葉落葉樹林(Broadleaf Deciduous Forest)に分けられる分類において面積減少が検出された。森林増加を行政区毎にみるとフフホト市、ウランチャブ市、赤峰市、通遼市及び興安盟において増加が見られた。一方で、森林減少が抽出された行政区は、包頭市、赤峰市、興安盟及びフルンベル市に及ぶ。特に顕著に森林減少が示されたのはフルンベル市である。フルンベル市においては、森林面積の割合が大きい減少傾向であるとこの図から示唆できた。
- ④ 裸地においては、植生増減の面積が小さいが、減少で示された面積が増加の面積より大きく示され、土地劣化の傾向であると考えられる。行政区毎にみるとバヤンヌール市、烏海市、オルドス市においては、裸地における植生増加傾向が示された。裸地における植生減少が示されたのは、アラシャ盟であり、他の行政区に比較して土地劣化の面積が大きいことが示された。

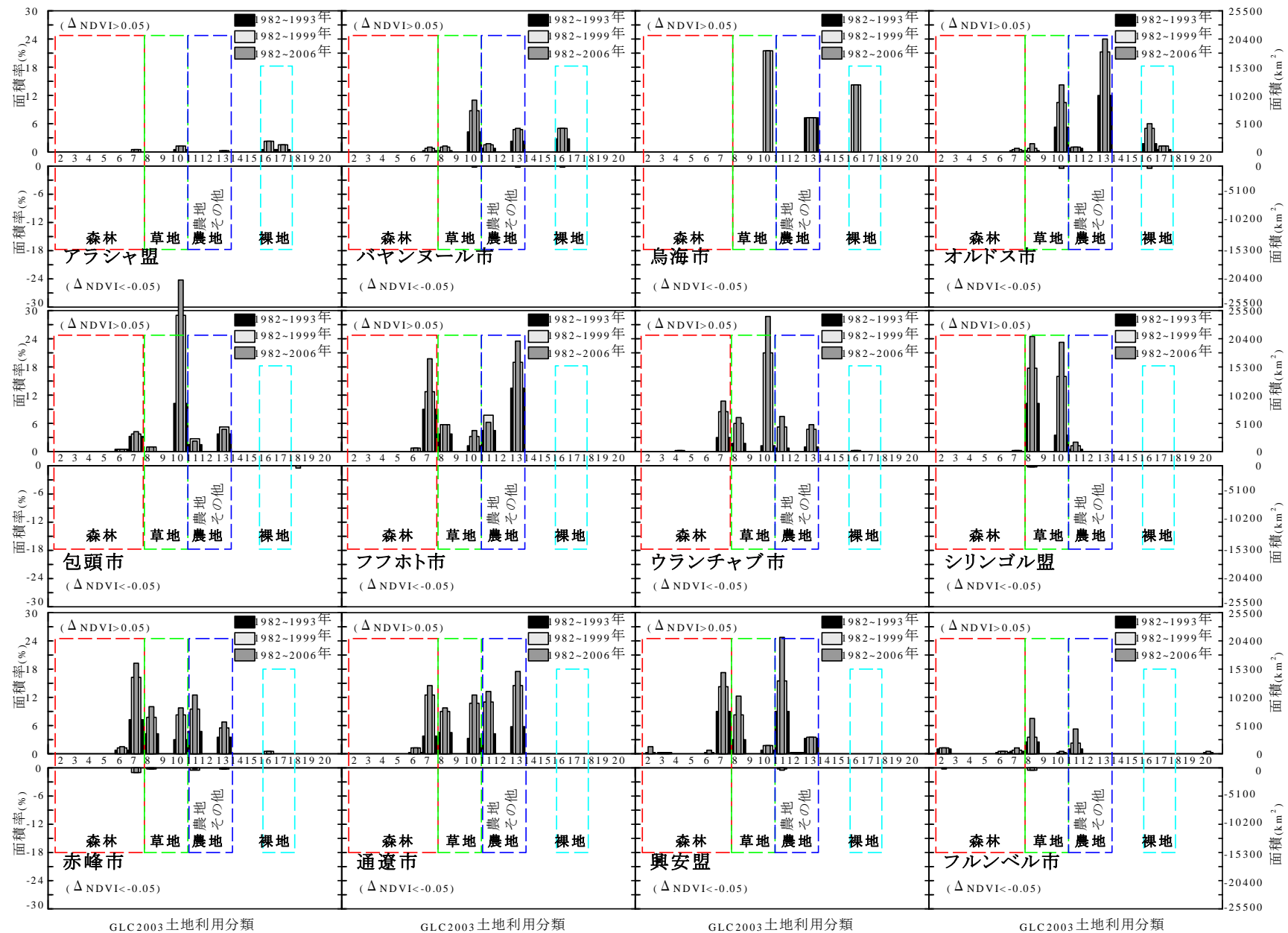


図-5.12(a) 内蒙古自治区各行政区における土地利用分類とその面積割合対比

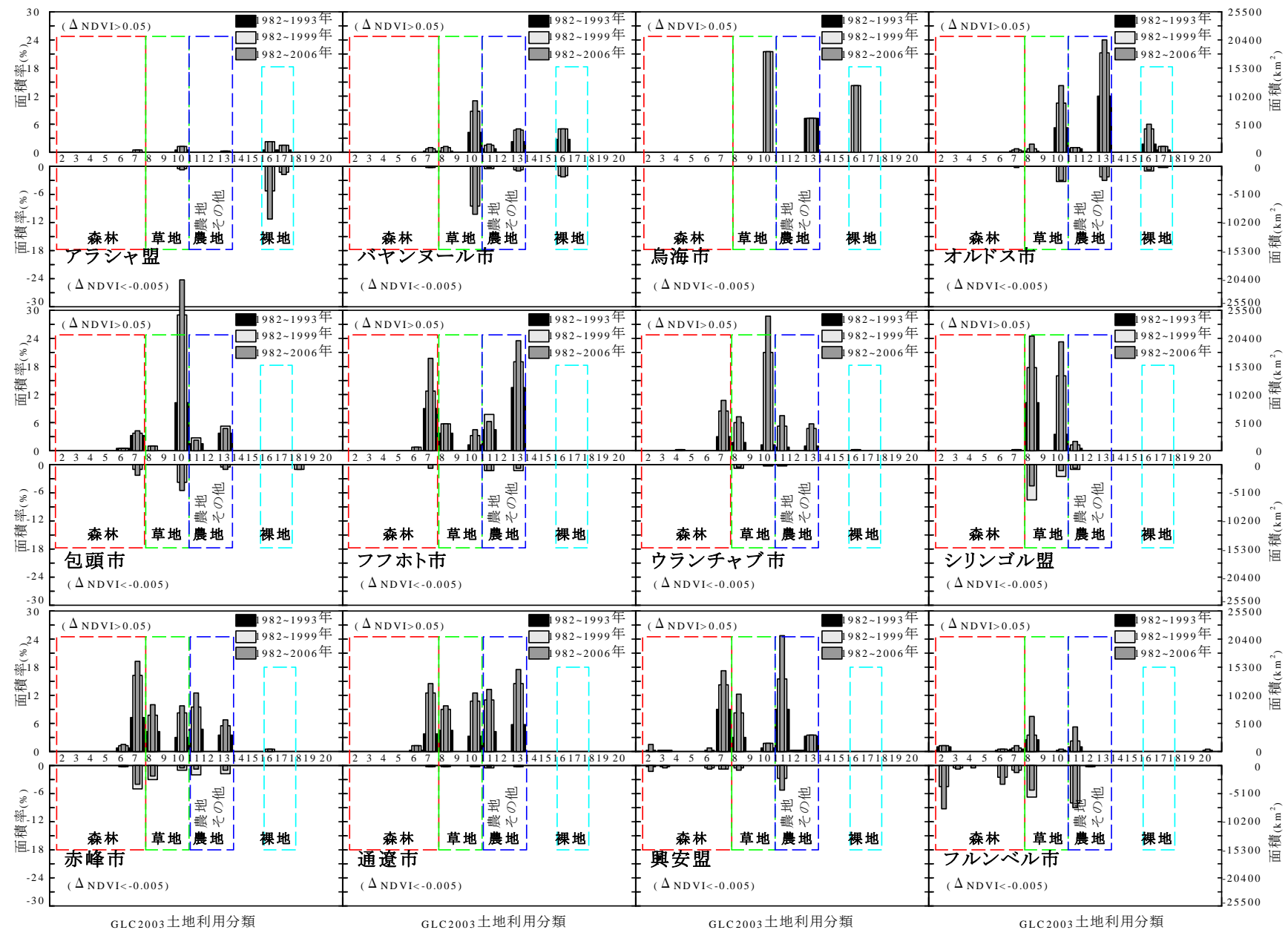


図-5.12(b) 内蒙古自治区各行政区における土地利用分類とその面積割合対比

### 5.3.9 土地利用分類における内蒙古全域及び行政区毎の植生変動の面積推定評価

GLC2003 土地利用分類データに基づき、AVHRR/GIMMS データから  $\Delta\text{NDVI} > 0.05$  の3期間の土地利用毎の面積率を表-5.4 にまとめた。森林、草地、農地、裸地に分類された土地利用において、1982~1993 年・1982~1999 年・1982~2006 年の3期間の  $\Delta\text{NDVI}$  閾値を用いた集計である。三つの  $\Delta\text{NDVI}$  閾値(0.05, -0.05, -0.005)に基づき、植生変動の面積推定を集計する。

表-5.4 内蒙古自治区全域における土地利用分類毎の NDVI 面積率の対比

$\Delta\text{NDVI} > 0.05$ に基づく推定						
土地分類	1982~1993 年		1982~1999 年		1982~2006 年	
	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>
森林	2.1	24,348	3.5	41,560	4.4	51,215
草地	5.5	64,334	11.5	134,440	15.1	177,260
農地	3.8	44,499	7.7	89,942	10.3	121,007
裸地	0.2	2,309	0.5	5,982	0.5	5,982
計	11.6	136,014	23.3	272,973	30.4	356,513

$\Delta\text{NDVI} < -0.05$ に基づく推定						
土地分類	1982~1993 年		1982~1999 年		1982~2006 年	
	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>
森林	0.5	5,982	0.2	2,204	0.1	1,679
草地	1.6	19,206	0.5	6,402	0.2	2,519
農地	0.7	8,081	0.2	2,414	0.1	1,679
裸地	0.1	1,469	0.0	525	0.0	420
計	3.0	35,053	1.0	12,174	0.6	6,612

$\Delta\text{NDVI} < -0.005$ に基づく推定						
土地分類	1982~1993 年		1982~1999 年		1982~2006 年	
	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>
森林	6.0	70,736	6.6	77,768	5.4	62,655
草地	13.0	152,072	6.5	76,298	3.2	37,257
農地	6.5	75,878	4.1	48,172	2.7	31,485
裸地	4.7	54,784	3.0	34,738	2.8	33,269
計	30.3	354,834	20.3	237,920	14.1	165,505

GIMMS データに基づく内蒙古全域における植生変動の推定表  
(土地利用分類は GLC2003 のデータに基づく)



$\Delta NDVI > 0.05$  に基づく推定：3つの期間において、全域で面積率の増加が見られた。土地利用分類から、草地及び農地における変動が顕著である。

$\Delta NDVI < -0.05$  に基づく推定：NDVIの正変動に用いる閾値と同程度でNDVIの負変動を集計すると過小評価に反映され、この閾値では植生減少を抽出できてないと考えられる。そこで、以下に示す閾値をもって集計した。

$\Delta NDVI < -0.005$  に基づく推定：全域において、NDVI負変動の面積が減少傾向である。土地利用分類からみると、草地及び農地における負変動の面積が減少である。これは、草地及び農地におけるNDVIの正変動面積率の増加に連動した変化であると考えられる。

内蒙古12の行政区における土地利用分類とその面積変遷の定量的評価により、12の行政区における土地利用の1980年代、1990年代、2000年代初期の土地利用変遷を考察できた。表-5.5作成は、GLC2003のデータを用いて、土地利用分類毎に対するNDVIの変動解析を行った結果を表にまとめた。その結果、内蒙古全域における行政区毎の土地利用変化が明瞭になった。GLC2003のデータから大まかに裸地・草地類・農地類・低木類・森林となる土地利用カテゴリを分け、それぞれの土地利用毎のNDVI正負(±)変動の面積率の大小を示した。NDVIの正変動する $\Delta NDVI$ の閾値は0.05とする。各行政区における $\Delta NDVI$ の閾値を基準値として、行政区毎での面積率が大小順に+, +, +, +, +で表す。NDVIの負変動する $\Delta NDVI$ の閾値は-0.005とする。負変動する面積率も大小順に-, -, -, -で表す。

表-5.5 内蒙古全域の植生変動の土地利用分け

	裸地			草地類			農地類			低木類			森林		
	1980's	1990's	2000's	1980's	1990's	2000's	1980's	1990's	2000's	1980's	1990's	2000's	1980's	1990's	2000's
アラシャ盟	--	-	--												
バヤンヌール市	+	++		+	++	++	+	++							
烏海市		++			++		+								
オルドス市		+	+	+	++	+++	+	++	++						
包頭市				+	++	+++	+	+		+	+	+			
フフホト市				+	++	++	++	+++	+++	+	++	+++			
ウランチャブ市					++	+++		+	+	+	++	++			
シリントゴル盟				+	++	++									
赤峰市				+	++	++	+	++	++	+	++	++			
通遼市				+	++	++	+	++	++	+	++	++			
興安盟					+	++	+	++	+++	+	++	++		+	
フルンベル市						+									
内蒙古全域	+	+		+	++	+++	+	++	+++	+	++	++			

注：行政区毎におけるNDVI負変化面積率の大小順-, -, -  
行政区毎におけるNDVI正変化面積率の大小順+, +, +, +, + 空白はNDVI正負不変化に近い。

上述の表-5.5 に示したように内蒙古全域における植生変動の各カテゴリから、行政区毎の土地利用変化を以下のようにまとめる。

#### 西部4地区において

裸地における植生変動は、主に内蒙古全の西部となるアラシャ盟やバヤンヌール市・烏海市・オルドス市において植生変動の面積率大きいことが分かる。アラシャ盟においては、1980年代・1990年代・2000年代初期期間において、植生の不変動面積率が大きいことは、砂漠化の進行面積が大きいことが示唆できる。バヤンヌール市においては、1980年代における草地類の植生の負の変動面積率が大きく、裸地地帯においても1980年代・1990年代・2000年代初期に正負変動が混在するが2000年代初期にも植生の負変動が継続である。一方で、バヤンヌール市における草地類及び農地類においては、1990年代より植生正変動面積率（++）が拡大していると理解する。烏海市においては、1980年代には裸地及び草地類に負の変動（--）面積率が大きいものの、1990年代より裸地及び草地類に正変動の面積率（++）が大きくなっている。オルドス市においては、裸地及び草地類の土地利用には1980年代と1990年代に正負変動の面積率（-）が混在するものの、草地類及び耕地類の土地利用には1990年代から2000年代初期にかけて、正変動の面積率が拡大していることが分かる。以上の解析結果から西部の4地区における土地利用変化をまとめると、もともと裸地面積率が高いが、アラシャ盟を除けば1990年代より植生の正変動面積率が増加している傾向であり、生態の回復或いは砂漠化の進行が弱くなっていると読み取る。

#### 中部4地区において

東部4地区に分けられる包頭市・フフホト市・ウランチャブ市・シリントグ盟においては、草地類及び耕地類から低木類の変動面積率の比例がどちらも大きいと推測する。包頭市においては、草地類には1980年代より負の変動面積率（--）が大きく、1990年代・2000年代初期においてその負の変動面積率が継続する。一方で、草地類においては、1980年代より2000年代初期にかけて正変動面積率（+++）が拡大していることが分かる。また、包頭市には1980年代より低木類の植生正変動面積率（+）が継続的にあるので、包頭市において植林などによる低木類の面積が増加していると考えられる。フフホト市においては、草地類・農地類・低木類の面積率が1980年代より2000年代初期にかけて拡大傾向であり、内蒙古全域においても最も植生変化が正変動でその面積が拡大しているのが顕著である。フフホト市においては、農地類は1990年代より正変動の面積率が大きく（+++）、同時に低木類と草地類の面積率も増加傾向であり、植生の負の変動面積率がほぼないことからフフホト市の植生被覆率が1980年代より増加しつつ、生態回復の裏付けであると言える。内蒙古自治区の首府都市として、生態修復による植生被覆率の増加であると推測する。ウランチャブ市においては、草地類には1980年代に負の変動面積（--）があったものの、1990年代より正変動の面積率が拡大しつつ、負の変動がほぼなくなっている。また、農地類や低木類の面積率も継続的に拡大傾向であることが分かる。シリントグ盟においては、1980年代に草地類の植生の負の変動面積率（--）が大きく、1990年代・2000年代にかけて正

負変動の面積率が同程度で存在し、2000年代初期に正変動面積率が弱上回り、草地類における植生変動の面積率が不安定状態であるとも考えられる。シリングル盟には、他の土地利用変化がほぼないとみられる。

#### 東部4地区において

東部4地区においては、赤峰市・通遼市・興安盟・フルンベル盟となり、地形分布などの気候要素から東部になるに従って、植生被覆率が増加する状況である。一方で、これらの4地区においては、低木類の面積率が上昇している傾向である。赤峰市においては、1980年代に草地類や農地類・低木類の面積率（-）が大きくあったものの、1990年代より2000年初期までに減っていることが分かる。その反面、1990年代よりこれらの土地利用面積率が継続的に増加している。通遼市もほぼ同様な植生変化であり、草地類・農地類・低木類の面積率が拡大しつつある。興安盟においては、草地類に1980年代に負の変動であったものの、1990年代より正変動面積率が増加傾向なり、農地類・低木類の面積率も増加傾向である。特に、農地類の面積率が徐々に増加傾向が大きくなっていることが分かる。興安盟には、森林の土地利用の正負変動が混在するため森林被覆率の増減が明らかではない。内蒙古自治区の一番東部となるフルンベル盟においては、1990年代から草地類に負の変動が2000年代初期までに継続するが、2000年代初期から正変動面積率もある。一方で、農地類の土地利用においては1980年代及び1990年代に負の変動である。また、低木類或いは森林においては、1990年代により負の変動が大きくなり、森林などの面積率が減少しているように読み取られるが、明らかではない。

以上のように内蒙古自治区を西部・中部・東部となる3地区に分けて考察した結果から、西部においては1980年代より砂漠化の進行面積が大きく、1990年代・2000年代初期にかけて砂漠化の進行が少なくなっていると読み取る。一方で、中部及び東部においては割と低木類の土地利用面積が1980年代より徐々に増加傾向であるが、シリングル盟等の地域においては、2000年初期にかけて植生増減面積率がほぼ同程度であることから、依然として中部の地域においては砂漠化の進行の可能性が高いと理解できる。東部の4地域においては一見1980年代より徐々に植生被覆率の増加傾向であると見られるがフルンベル盟においては植生減少傾向であり、砂漠化の進行及び不適切な土地利用の可能性を示唆する。内蒙古全域の土地利用分類毎における、植生増減の面積率からみても、森林を除くどの土地利用においても1980年代には植生減少の面積率が大きく、1990年代・2000初期になるに従って植生減少の面積率が小さくなっていることが分かる。一部地域における森林地域の植生変動が2000年代初期にかけて減少傾向であるが明確な変動とは言えない。

前述までの内容を踏まえて、図-5.13にその内容をまとめ反映した。内蒙古全域における土地利用毎に対するNDVIのばらつき変動と土地利用毎の面積割合、NDVIの区分毎の面積割合、土地利用毎の植生変動をこの図に反映した。

図-5.13(a)には、土地利用毎におけるNDVIのばらつきを示す。

図-5.13(b)には、土地利用毎の面積割合を示す。

図-5.13(c)には、NDVIを0.05刻みに区分した面積割合を示す。

図-5.13(d)には、土地利用毎における対する植生変動の面積割合を示す。

なお、ここに示される内容については、前述した内容に入っているため、ここでは重複記述を略した。

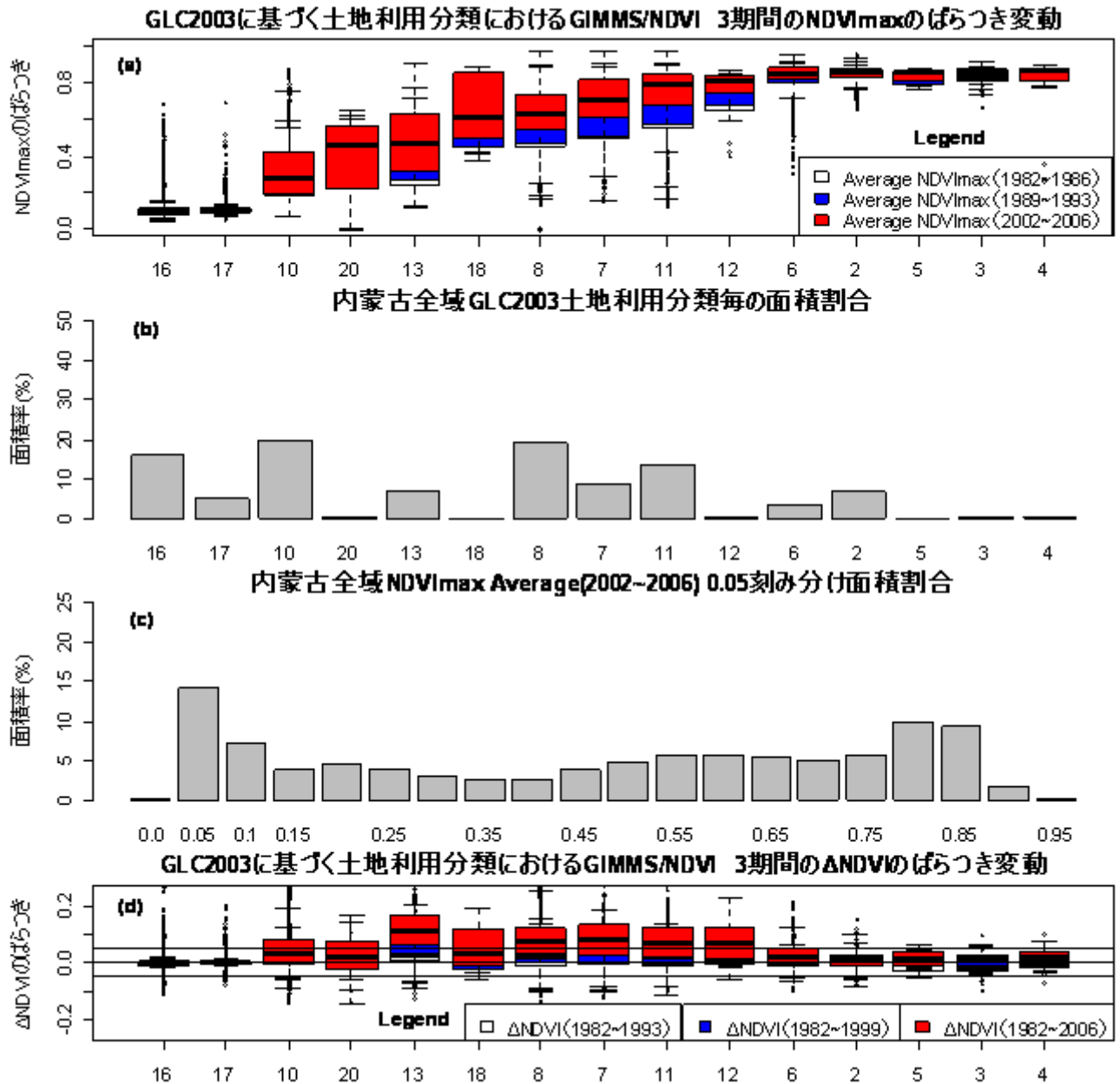


図-5.13 内蒙古自治区全域における土地利用分類とそのNDVI変動比較

## 5.4 まとめ

内蒙古自治区全域における植生変動を行政区毎で検討を行った。リモートセンシング衛星データを用いて、土地利用区分毎における植生変動の定量的評価を行い、各行政区間での土地利用検討ができた。また、植生指数を用いたNDVI区分での長期変動を捉え、どのNDVI区分での植生変動が大きいかを各行政区毎に検討を行った結果、どの行政区において

も植生増加傾向が示された地域はもともとの植生 NDVI が 0.2~0.6 の区分での変動が大きいことが明らかになった。一方で、植生減少のトレンドが示されたのは各行政区内の最も NDVI 区分の最大カテゴリに減少傾向があり、もともと植生密度が高い地域において土地劣化の傾向性が示唆できた。

本章の検証結果から、第3章と第4章で明らかになった内蒙古自治区の植生変化が、もともとどのような植生のところで生じたか、内蒙古自治区 12 の行政区毎に植生・土地利用データセットを加えて土地利用区分毎の植生変動の実態を明らかにした。本章では、内蒙古自治区全体における NDVI データに基づいて、1980 年代前半の NDVI を 0.1 刻みで区分し、各 NDVI 区分における NDVI トレンドの経年変化を解析した。その結果からみると、1980 年前半から 2000 年代初期にかけて全般的に植生が増加しているが、もともと植生が乏しいところ(NDVI<0.2)と植生が豊かなところ(NDVI>0.7)においては、植生の増加はほとんど見られず、植生増加が見られたのは、1980 年代前半の NDVI が 0.2~0.7 の草地と農地に区分される土地利用において植生増加が顕著であると示唆できた。また、行政区別にみると乾燥地である西部のアラシャ盟では、全般に植生増加は見られず、アラシャ盟としては植生の多い(NDVI>0.4)とされるオアシスの周辺地域の植生のところでは、1980 年代から 2000 年初期にかけて NDVI トレンドが顕著な低下傾向であり、植生劣化による植生減少が生じたと考えられる。その他の行政区においては、NDVI が 0.2~0.7 の範囲に当たる土地利用において植生増加が生じ、緑化や耕地拡大による植生造成はもともと植生が生育条件のある土地において、拡大されてきたと考察できた。また、アラシャ盟と烏海市を除くと内蒙古自治区ではもともと植生がある程度の植生が存在した地域で、草地における植生増加と農地化が進んだことが明らかになった。

一方で、第3章と第4章で論じてなかった植生減少したところの評価について、植生・土地利用データセットに基づき、NDVI が減少したところを植生別に区分し、各植生分類における植生変動の検討ができた。その結果、NDVI が減少した植生は主に草地として区分された土地である。前述したように草地においては、植生増加変動も大きいとされたが、草地においては植生減少のトレンドも検出された。草地においては、植生の増減が伴いもともと土地利用変化が生じしやすく、砂漠化の影響を受けやすいと示唆できた。草地における植生減少の面積集計を行い、行政区毎で 400km<sup>2</sup> 以上の面積に亘って、NDVI 減少が生じた地域は、主にアラシャ盟、オルドス市、包頭市、シリングル盟、フルンベル市など広域に亘って植生減少が及んでいると確認された。内蒙古自治区では、アラシャ盟を除き、1980 年代から 2000 年代初期における 25 年の期間において、全体としては植生が増加する傾向が顕著であるが、アラシャ盟を含めて多くの地域に亘って植生減少の地域も存在し、砂漠化の進行及び不適切な土地利用による土地劣化の可能性が示唆される。なお、フルンベル市などの東部地域においては、もともと森林地域を含め、植生が多く分布する地域では 2000 年以降より NDVI が減少傾向にあると検出された。しかし、これにおいては、何らかの植生劣化であるか或いは NDVI データセットに残されているデータ処理上の特性であるか、判断材料がなく、本研究では植生変化の実態に言及することはしなかった。

これにより内蒙古自治区の各行政区間の土地利用実態及び植生変化の長期的な変動を捉

えることができ、どの時期にもともとどのような土地利用だった地域から現に至るまでの約 25 年間における変動が明らかになった。

## 引用文献

- Kensuke, K., A. Tsuyoshi, Y. Hiro-omi, Y. Taisuke, T. Michio, W. Osamu, and W. Shiping. 2005: Conservation and sustainable use of grassland ecosystems : Application of satellite monitoring and GPS/GIS. *Japanese Journal of Ecology* 55 (2):327-335.
- Hoshino, B., G. Kudo, M. Yonemori, Y. Amagai, M. Kaneko, and T. Yabuki. 2010: Quantitative Studies on vegetation changes in Mountain Ecosystems : - Case study of Taisetsuzan National Park of Hokkaido, Japan. *Journal of the College of Dairying. Natural science* 35 (1):47-53.
- Okayasu, T., T. Sasaki, U. Jamsran, and K. Takeuchi. 2006: Model study on desertification process varying with different geographical conditions. *Papers on environmental information science* 20:59-64.
- 秋山侃. 1994: 衛星リモートセンシング技術の農業利用研究—広域的作物資源の分布と生育状態の定量的把握—. *日本生物環境調節学会* 32 (3):p145-154.
- Ryutaro Tateishi, Bayaer, Mohamed Aboel Ghar, Hussam Al-Bilbisi, Javzandulam Tsendayush, Adel Shalaby, Alimujiang Kasimu, Nguyen Thanh Hoan, Toshiyuki Kobayashi, Bayan Alsaaidah, Md. Mijanur Rahman, and E. Tsevenge. 2008: Global Map-Global Land Cover (GLCNMO) 123.
- 近藤昭彦. 2004: グローバルリモートセンシングによる植生・土地被覆変動の抽出とその要因解析. *水文・水資源学会誌 = JOURNAL OF JAPAN SOCIETY OF HYDROLOGY & WATER RESOURCES* 17 (5):459-467.
- Wang, X.G., Li, X.Z., He, H.S., and Xie, F.J. 2005: Evaluation of landscape restoration in the northern slopes of Great Xing'an Mountains after the 1987 catastrophic fire. *Acta Ecologica Sinica* 25(11):3098-3106. (in Chinese with English abstract).
- 張景廉. 1998: 阿尔山森林大火与地下天然气. *天然気地球科学*.
- 朱鈞, 郎咸仁, 雷志国. 2003 年 4 月 16 日: 黒竜江省大興安嶺林の森林火災の現場からの報告. *人民日報*.
- Wu, R. F., Shen, J.G., Yan, W.X., Zhang, H., 2009: Impact of climate warming on phenophase of *Populustomentosa* in Inner Mongolia. *Chinese Journal of Applied Ecology* 20 (4):785-790, in Chinese with English abstaract.

## 第6章 研究総括

本研究では、内蒙古自治区を対象に衛星リモートセンシング手法を用い 1980 年代から 2000 年代半ばまでの期間で、どのような植生変化が生じたかを行政区毎の特徴に立ち入って明らかにしたものである。

これまでに、森林減少・劣化（乾燥地域の砂漠化）状況について統計や特定地域のための衛星画像解析の研究事例は多くあるが、内蒙古自治区全域を対象とした解析や地域の特徴を明らかにした研究事例が少なく、特に衛星画像データでの解析事例ではある時期での土地利用変動が検討されるが、長期的継続的な変動が把握されてない。本研究では 1980 年以降約 25 年間の土地利用の経年変化・空間分布の特性を解明することを目標とし、植生の長期間での経年変化及び季節変動のトレンドを解析し、内蒙古全域の統計資料とも対比した。

内蒙古自治区における地形、植生などの既往データセットについて収集するとともに、土地利用の統計データを用いると内蒙古全域における造林・耕地面積の時系列変遷及び家畜頭数の時系列変遷から、土地利用の要因を探る重要なデータとなる。内蒙古自治区全域において、継続的な造林面積の拡大及び耕地面積の変動から、内蒙古における植生被覆率の変化が造林による効果が大きいと示唆された。一方で、家畜頭数の変化から 1980 年代よりの増加が草地に与える砂漠化への影響が考えられる。しかし、内蒙古全域において生態政策に関する実地報告などから、近年における緑化事業及び耕地利用の数値公表が多くあるものの、どこでどれほど変わったかの情報が乏しく、土地利用の実態を把握するには統計データや報告などでは実態が把握しきれないことを指摘した。

衛星リモートセンシングデータは、NOAA/AVHRR PAL シリーズと GIMMS シリーズ及び SPOT/vegetation の 3 種の NDVI データセットを用いた。PAL シリーズデータセットは、1982~1999 年、GIMMS シリーズデータセットは 1982~2006 年、SPOT/vegetation データセットは 1999~2008 年のデータである。植生変動を捉える指標として最も一般的に用いられている手法は、正規化植生指数(NDVI)データであり、本研究ではこの手法を用いた。本章では 1982~1999 年における NOAA/AVHRR PAL シリーズデータを用いた検討を行った。衛星リモートセンシングデータである NOAA/AVHRR PAL データセットを利用し、1982~1999 年における植生変動の実態を解明した。まず、文献から植生変化の実態が明らかな 4 地域を選び出し、NDVI の変化と植生変化について比較し、1982~1999 年までの約 18 年間ににおける植生の変動を調べた。植生変化が少ない東北部の森林地域での NDVI 変動から、植生増減を判断する NDVI 変化の閾値の検討し、1982~1999 年における植生増加と減少に対応する NDVI が正負に変動した面積を比較し、各地域における植生変動を示した。また、植生が変化した地域を抽出して図化し、植生変化の空間分布及とその時期を明らかにした。また、衛星リモートセンシングデータに基づいて求められた行政区毎における植生変化の面積率が行政区毎の土地利用統計資料に基づいた人為的な要因による造林面積率



と耕地面積率と比例関係であるかを検証した。その結果、内蒙古自治区全体としては、NDVIが増加した地域の割合が減少した地域の割合を大きく上回り、植生増加の傾向が顕著であると示された。これにより、1982~1999年における植生変動の地域分けから、赤峰市（特に敖漢旗）の植生増加が最も顕著であり、次いでシリンゴル盟、フフホト市、バヤンヌール市の一部にまとまったNDVI増加が示され、内蒙古全域においてNDVIが増加した面積が約20万Km<sup>2</sup>程度見られた。北半球の高緯度地域では温暖化によるNDVIの増加が報告されているが、内蒙古自治区における夏季のNDVI増加は主に緑化と農耕地の拡大という人為的な要因による植生増加であると推測された。一方で、NDVI減少が抽出された内蒙古自治区西部（アラシャ盟）、東北のホルチン砂地周辺などは、もともと植生が乏しい地域であり、これらの地域では砂漠化による植生減少が顕著であることを示した。

第4章では、内蒙古自治区における2000年以降の植生変化が1990年代までの植生変化と同じ傾向が継続しているか否かについて、NOAA/AVHRR(GIMMS and PAL)データとSPOT/Vegetationのデータセットを用いて、NDVIの変化を調べた。その結果、内蒙古自治区の広域を対象にし、上述の3つのデータセットを利用することによって得られた植生変動の傾向性がほぼ一致した結果であった。また、NDVIデータに示された植生増加変化について、時系列変動性や空間分布の地域性が統計年鑑による統計データと多くの行政区で正の相関があることが示された。その一方、一部の行政区レベルでの統計データにおける過大評価や過小評価の実態が明らかとなった。当然、統計資料には作成過程において人的要因による統計ミスも考えられ、過大評価や過小評価もあるに違いない。本研究を行うことにより、リモートセンシング手法を用いて統計データとの対比ができ、土地利用の変遷過程を描くことにより内蒙古全域における土地利用の変動と地域性を明らかにすることができた。

衛星データ及び統計データの相関比較から、烏海市・バヤンヌール市・オルドス市・フフホト市においては、2000年代初期における統計データの面積率の変化が同期間におけるNDVI正変化の面積率より大きく変動していた。つまり、統計データでは2000年代初期においては、これらの地域には造林や耕地面積の増加であるが、NDVIデータからはそれに比例する程の植生変動が検出されてないことで、統計データの過大報告に起因すると考えられる。一方で、シリンゴル盟においては1990年代から2000年代初期にかけて統計データでの面積が小さいが、NDVIデータからはシリンゴル盟全域の40%以上の植生変動面積率が抽出され、統計データによる推定が衛星データの推定より小さく示され、土地利用の変動が統計データに反映されてないと考えられる。また、ウランチャブ市においては、1990年代における統計値の面積率が約5%増加しているのに対して、NDVIの正変化による植生増加推定面積率が統計値に基づく推定より10倍以上となり、統計数値が過小であると判断された。その他の行政区において、植生増加面積とその時系列変化の動向は、衛星解析と統計資料は対応していたために、統計データと衛星データによる推定が対応しない地域においては、衛星データによる推定が土地利用変化の詳細を表していると考えられる。また、本章において異なる衛星データの継続利用性について検証した結果、NOAA/AVHRR長期シリーズデータ及び最近のSPOT/Vegetationデータの組み合わせ利用が可能であると検証

でき、土地利用の長期モニタリング手法として知見を得た。

第5章では、第3章と第4章で明らかになった内蒙古自治区の植生変化が、もともとどのような植生のところで生じたか、内蒙古自治区12の行政区毎に植生・土地利用データセットを加えて土地利用区分毎の植生変動の実態を明らかにした。特に、統計資料との対比ができなかった植生が減少した地域について詳しい検討を行った。

内蒙古自治区全体について衛星データのNDVIから見ると、1980年代前半から2000年代半ばにかけて全般的に植生が増加しているが、もともと植生が乏しいところ( $NDVI < 0.2$ )と、植生が豊かなところ( $NDVI > 0.7$ )は植生の増加はほとんど見られず、植生増加がみられたのは、1980年代前半のNDVIが0.2~0.7の草地と農地である。行政区別にみると、乾燥地である西部のアラシャ盟では、全般に植生増加は見られず、アラシャ盟としては植生の多い $NDVI > 0.4$ のところで植生の減少が示された。その他の行政区では、NDVIが0.2~0.7で植生増加があり、植生減少の可能性があるのは $NDVI > 0.7$ の比較的植生の豊かなところである。アラシャ盟と烏海市を除くと、内蒙古自治区ではもともとある程度の植生が存在した地域で、草地における植生増加と農地化が進んだことが明らかとなった。

一方、第3章と第4章で論じていなかった植生が減少したところの評価について、植生・土地利用データセットによって、NDVIが減少したところを植生別に区分した。その結果、NDVIが減少した植生は主に草地として区分された土地である。そのうち、面積割合としては小さいものの行政区毎に400km<sup>2</sup>以上で草地のNDVIが減少したとされたところは、アラシャ盟、オルドス市、包頭市、シリングル盟、フルンベル盟などに見られた。内蒙古自治区ではアラシャ盟を除き、最近30年間は植生が増加する傾向が顕著であるが、その他の行政区でも部分的に植生が減少する地域が存在することが明らかとなった。これらの地域では、砂漠化の進行及び不適切な土地利用の可能性が示唆される。なお、フルンベル盟など東部において、もともと森林である $NDVI > 0.7$ の地域で2000年以降NDVIが減少傾向にあることについて、何らかの植生の劣化であるか、NDVIデータセットに残されているデータ処理上の特性であるか、判断材料がなく、本研究で植生変化の実態に言及することはしなかった。

## まとめ

本研究により、中国内蒙古自治区を対象に衛星リモートセンシング手法を用いて、1980年代から2000年代半ばまでの期間における植生変動の長期観測ができ、どのような植生変化が生じたかを行政区毎の特徴に立ち入って明らかにした。

内蒙古自治区における植生は、増加したか劣化したかを、本研究の第3章に解析した。その結果、内蒙古全域においては1980年代から2000年代半ばにかけて、全般的に植生増加であると示唆できた。また、内蒙古における植生変動はどこに増加しているか、どこで植生劣化が生じたかの空間分布を第3章及び第5章をもって明らかにした。その結果、もともと植生が少ない $NDVI < 0.2$ の地域及びもともと森林など植生が豊富な $NDVI > 0.7$ の地域においては、大きな植生変動が見られない。半乾燥地における疎らな植生や草地などが含まれる $0.2 < NDVI < 0.7$ の地域においては、植生が増加した地域が多い。これらの植生

変動は「いつ」発生したかを第4章において明らかにした。総じて、1980年代から1990年代後期において植生増加面積が大きく、その増加変動が2000年代半ばまでに続いていることが確認された。しかし、2000年代に入ってから植生増加の速度が穏やかになっていると分かった。また、植生減少・劣化した地域はどこにあるかを第5章の解析から明らかにした。

以上に示す結果から、本研究では内蒙古自治区における土地利用変遷である砂漠化と緑化や耕地などによる植生増減過程を解析にあたって、「いつ、どこ、どれぐらい、今は、確実性」という5つの論点から、植生変化を論じることができた。

## 謝辞

本博士論文を執筆するにあたり多くの方にご支援を頂き、感謝の限りであります。

まず、東京大学大学院農学生命科学研究科の大手信人准教授及び内蒙古自治区農業大学林学院の王林和教授には貴重な助言を頂いた。また、本研究では現地調査や研究発表などを行うことにより、研究成果を公表して来ました。その費用の支援として東燃国際奨学金財団の奨学生として活動を行うことができ、ここに記して深く感謝致します。

東京大学大学院森林理水及び砂防工学研究室に2003年から研究生として入ることができ、鈴木雅一教授にご指導を仰ぐことになりました。普段は、ご多忙の先生と会話を交わす機会が少ないが、それにしても研究に関しては、お時間を作ってください、熱く語り始め、自分の今の研究へ導いたのであります。しかし、勉強不足の自分には何度も挫折してしまい、戸惑いを感じた自分に周囲からも仲よくさしていただきました。特に、本研究室の堀田紀文助教に論文の書き方から指導していただき、研究が捗ることができたと思います。また、本研究室の大手信人准教授にゼミなどを通じて研究内容や方針についてご指摘をして頂き、大変感謝しております。GISなどのソフトウェアの利用やデータ整理などについて、Muhamad Husni Idrisさん、厚井高志さん、澤野真治さん、南波陽平さんに大きな助力を頂きました。同期だった小田智基さん、新田秀典さん、堀内利紳さんらにもいつも仲よくさしていただき、名古屋万博を見に行ったり楽しい思い出が作れました。また、データ解析に詳しい後輩に当たる五十嵐康記君にも多くの面で助けられたお陰で、大いに収穫を得ることができたと思います。書類手続きなどの時には、いつもご丁寧に教えていただいた同研究室の福島淳子さんや専攻担当事務の粉川友子さんにも大変お世話になりました。本博士論文に付くこの謝辞を書くに至って、本当に多くの方にお世話になりました。こうした自分にとっても優越な勉強場として居させてくださった日本国に感謝し、奨学金や学費免除などで自分の生活負担を減らしていただいた学校側にも大変感謝しております。そういうご支援がなければ、とてもできないことがいっぱいあったと思います。ここに記して謝意を表します。

2001年から今に至って、長年海外にいる自分に両親や兄弟からもずっと励まし続けてくれたことに感謝し、研究生生活を支えてくれた妻に感謝します。

論 文 内 容 の 要 旨

森林科学 専攻

平成 18 年度博士課程 入学

氏 名 エリデニ  
額尔德尼

指導教員名 鈴木 雅一

論文題目

リモートセンシングによる中国内蒙古自治区における植生の長期変化に関する研究

中国においては、砂漠化や土地劣化の進行が憂慮され、またその改善のため長年に亘って大規模な植林・植草政策が行われてきた。しかし、中国における人工林面積の増加や土地利用の変遷による植生変動の地域分布及び時系列変動の実態はまだ十分に把握されていない。特に内蒙古自治区は、面積が約 120 万  $\text{km}^2$  と広く、西部の砂漠から中部の半乾燥地、草地、東北部の森林まで多様な自然環境があり、砂漠化が報告される地域がある一方、緑化事業や農地造成も活発なことが報告されている。本研究では、内蒙古自治区を対象に衛星リモートセンシング手法を用い 1980 年代から 2000 年代半ばまでの期間で、どのような植生変化が生じたかを行政区毎の特徴に立ち入って明らかにしたものである。

**第 1 章**では、本研究の背景及び研究の目標を述べ、既往研究に基づく内蒙古自治区における砂漠化と緑化の検討課題の把握と課題を提示した。これまでに、森林減少・劣化（乾燥地域の砂漠化）状況について統計や特定地域のための衛星画像解析の研究事例は多くあるが、内蒙古自治区全域を対象とした解析や地域の特徴を明らかにした研究事例が少なく、特に衛星画像データでの解析事例ではある時期での土地利用変動が検討されるが、長期的継続的な変動が把握されていない。本研究では 1980 年以降約 25 年間の土地利用の経年変化・空間分布の特性を解明することを目標とし、植生の長期間での経年変化及び季節変動のトレンドを解析し、内蒙古全域の統計資料とも対比する研究の必要性を述べた。

**第 2 章**では、内蒙古自治区における地形、植生などの既往データセットについて収集す

るとともに、土地利用の統計データを整理し、統計データに基づく土地利用変遷を示した。内蒙古各行政区における土地利用統計データは、地域の発展及び土地利用状況を示す重要なデータであり、造林・耕地面積の時系列変遷及び家畜頭数の時系列変遷から、土地利用の変遷要因を知る重要なデータである。内蒙古自治区全域において、継続的な造林面積の拡大及び耕地面積の変動から、内蒙古における植生被覆率の変化が造林による効果が大きいと示唆される。一方で、家畜頭数の変化から 1980 年代よりの増加が草地に与える植生劣化への影響も存在すると考えられる。しかし、内蒙古全域において生態政策に関する実地報告などから、近年における緑化事業及び耕地利用の数値公表が多くあるものの、どこでどれほど変わったかの情報が乏しく、土地利用の実態を把握するには統計データや報告などでは実態が把握しきれないという限界性も指摘した。

**第 3 章**では、内蒙古自治区全域における砂漠化と緑化事業がもたらした植生変化の実態を把握するために、衛星データ及び統計データとの検証に基づき、植生変動の空間分布と時系列変動を求め、土地利用統計資料と対比した。植生変動を捉える指標として最も一般的に用いられている手法は、正規化植生指数(NDVI)データであり、本章では 1982~1999 年における衛星リモートセンシング NOAA/AVHRR PAL シリーズデータを用いた検討を行った。まず、文献から植生変化の実態が明らかな 4 地域を選び出し、NDVI の変化と植生変化について比較し、1982~1999 年までの約 18 年間ににおける植生の変動を調べた。植生変化が少ない東北部の森林地域での NDVI 変動から、植生増減を判断する NDVI 変化の閾値を検討し、1982~1999 年における植生増加と減少に対応する NDVI が正負に変動した面積を比較し、各地域における植生変動を示した。また、植生が変化した地域を抽出して図化し、植生変化の空間分布及とその時期を明らかにした。また、衛星リモートセンシングデータに基づいて求められた行政区毎における植生変化の面積率が行政区毎の土地利用統計資料に基づいた人為的な要因による造林面積率と耕地面積率と比例関係であるかを検証した。その結果、内蒙古自治区全体としては、NDVI が増加した地域の割合が減少した地域の割合を大きく上回り、植生増加の傾向が顕著であると示された。これにより、1982~1999 年における植生変動の地域分けから、赤峰市（特に敖漢旗）の植生増加が最も顕著であり、次いでシリングゴル盟、フフホト市、バヤンヌール市の一部にまとまった NDVI 増加が示され、内蒙古全域において NDVI が増加した面積が約 20 万  $\text{Km}^2$  程度見られた。北半球の高緯度地域では温暖化による NDVI の増加が報告されているが、内蒙古自治区における夏季の NDVI 増加は主に緑化と農耕地の拡大という人為的な要因による植生増加であると推測された。一方で、NDVI 減少が抽出された内蒙古自治区西部（アラシャ盟）、東北のホルチン砂地周辺などは、もともと植生が乏しい地域であり、これらの地域では砂漠化による植生減少が顕著であることを示した。

**第 4 章**では、内蒙古自治区における 2000 年以降の植生変化が 1990 年代までの植生変化と同じ傾向が継続しているか否かについて、NOAA/AVHRR(GIMMS) データと SPOT/Vegetation のデータセットを用いて、NDVI の変化を調べた。その結果、内蒙古自治

区の広域を対象にし、第3章で用いた NOAA/AVHRR(PAL)データを加えた3つのデータセットを対比すると、得られた植生変動の傾向性は、ほぼ一致した。また、NDVI データに示された植生増加変化について、時系列変動性や空間分布の地域性が統計年鑑による統計データと多くの行政区で正の相関があることが示された。その一方、一部の行政区レベルでの統計データにおける過大評価や過小評価の実態が明らかとなった。これにより、内蒙古全域において統計データ及び衛星データに基づいて得られた植生変動の比較検証から、衛星データではより正確に植生変化の時期及び空間分布の地域性を示唆できた。

衛星データと統計データを内蒙古自治区にある12の行政区毎に比較すると、烏海市・バヤンヌール市・オルドス市・フフホト市においては、2000年代初期における統計データの面積率の変化が同期間におけるNDVI 正変化の面積率より大きく変動していた。つまり、統計データでは2000年代初期において、これらの地域は造林や耕地面積が増加しているが、NDVI データからはそれに対応する程の植生変動が検出されておらず、統計データの過大報告があると考えられる。一方で、シリンゴル盟においては1990年代から2000年代初期にかけて統計データでの面積が小さいが、NDVI データからはシリンゴル盟全域の40%以上の地域で植生増加が抽出され、統計データによる推定が衛星データの推定より小さく示され、土地利用の変動が統計データに反映されてないと考えられた。また、ウランチャブ市においては、1990年代における統計値の面積率が約5%増加しているのに対して、NDVI の正変化による植生増加推定面積率が統計値に基づく推定より10倍以上となり、統計数値が過小であると判断された。その他の行政区において、植生増加面積とその時系列変化の動向は、衛星解析と統計資料は対応していたため、統計データと衛星データによる推定が対応しない地域においては、衛星データによる推定が土地利用変化の詳細を表していると考えられる。

第5章では、第3章と第4章で明らかになった内蒙古自治区の植生変化が、もともとどのような植生のところで生じたか、12の行政区毎に植生・土地利用データセット(GLC2003)を加えて土地利用区分毎の植生変動の実態を明らかにした。特に、統計資料との対比ができなかった植生が減少した地域について詳しい検討を行った。

内蒙古自治区全体について衛星データのNDVI から見ると、1980年代前半から2000年代半ばにかけて全般的に植生が増加しているが、もともと植生が乏しいところ( $NDVI < 0.2$ )と、植生が豊かなところ( $NDVI > 0.7$ )は植生の増加はほとんど見られず、植生増加がみられたのは、1980年代前半のNDVI が0.2~0.7の草地と農地である。行政区別にみると、乾燥地である西部のアラシャ盟では、全般に植生増加は見られず、アラシャ盟としては植生の多い $NDVI > 0.4$ のところで植生の減少が示された。その他の行政区では、NDVI が0.2~0.7で植生増加があり、植生減少の可能性のあるのは $NDVI > 0.7$ の比較的植生の豊かなところである。アラシャ盟と烏海市を除くと、内蒙古自治区ではもともとある程度の植生が存在した地域で、草地における植生増加と農地化が進んだことが明らかとなった。

一方、第3章と第4章で論じていなかった植生が減少したところの評価について、植生・

土地利用データセットによって、NDVI が減少したところを植生別に区分した。その結果、NDVI が減少した植生は主に草地として区分された土地である。そのうち、面積割合としては小さいものの行政区毎に 400km<sup>2</sup> 以上で草地の NDVI が減少したとされた地域は、アラシャ盟、オルドス市、包頭市、シリントル盟、フリンベル盟などに見られた。内蒙古自治区ではアラシャ盟を除き、最近 30 年間は植生が増加する傾向が顕著であるが、その他の行政区でも部分的に植生が減少する地域が存在する。これらの地域は、主に草地であり、砂漠化の進行及び不適切な土地利用の可能性が示唆される。なお、フリンベル盟など東部において、もともと森林である NDVI>0.7 の地域で 2000 年以降 NDVI が減少傾向にあることについて、何らかの植生の劣化であるか、NDVI データセットに残されているデータ処理上の特性であるか、判断材料がなく、本研究で植生変化の実態に言及することはしなかった。

**第 6 章では**、本論文で得られた知見をまとめて総括とした。