

中国内蒙古自治区奈曼旗における土地条件と砂漠化面積変動の関連性  
The Relationship between Edaphic Conditions and the Change in Desertified  
Area in Naiman County, Inner Mongolia, China

立入 郁\*・武内和彦\*\*  
Kaoru TACHIIRI and Kazuhiko TAKEUCHI

平成10年11月

第12回環境情報科学論文集別刷

Reprinted from Papers on Environmental Information Science,  
No.12, November 1998

社団法人 環境情報科学センター  
Center for Environmental Information Science, Tokyo

## 中国内蒙古自治区奈曼旗における土地条件と砂漠化面積変動の関連性

The Relationship between Edaphic Conditions and the Change in Desertified Area in Naiman County, Inner Mongolia, China

立入 郁\*・武内和彦\*\*

Kaoru TACHIIRI and Kazuhiko TAKEUCHI

**要旨:** 中国内蒙古自治区奈曼旗において、地形分類図と土壤図を用いて土地を区分し、その区分ごとに衛星画像を用いた砂漠化進行のモニタリングをおこなった。モニタリングには 1975 年から 1994 年までのうちの 10 カ年分の Landsat/MSS の画像を用い、指標としては土壤による反射を考慮した植生指数である Transformed Soil Adjusted Vegetation Index (TSAVI) を用いた。その結果、土地条件ごとでは大起伏砂丘—風積砂土域でもっとも砂漠化が進行しており、ついで低位段丘—風積砂土域で進んでいた。また、それらでは値の年次変動も大きかった。黄土台地地域あるいは湿草地土地域では植被が豊富で、変動も比較的小さかった。

**キーワード:** 砂漠化, 土地分類, Landsat/MSS, TSAVI, 内蒙古

**Abstract:** Desertification monitoring by using satellite images was studied on Naiman County, Inner Mongolia, China. Landsat/MSS images for ten years from 1975 to 1994 were used for analysis and Transformed Soil Adjusted Vegetation Index (TSAVI) was adopted as a vegetation index. Monitoring was performed separately for 14 land types classified using landform and soil maps. 'Large relief sand dune - aeolian sandy soils' land type and 'low terrace-aeolian sandy soils' others with aeolian were greatly damaged by desertification, and their indices fluctuated widely every year. The area of the Huangtu Plateau and the area of meadow soils were covered with abundant vegetation, and experienced relatively gentle annual fluctuations.

**Key words:** desertification, land classification, Landsat/MSS, TSAVI, Inner Mongolia

### はじめに

砂漠化または土地荒廃とよばれる現象は、乾燥地の農地約 52 億 ha の約 70% におよぶ 36 億 ha (全世界の陸地の約 30%) においてみられる。その結果、100 ヶ国以上で全世界の人口の約 1/6 および 8 億 5000 万人が影響を受けている (UNEP, 1992)。ただし影響をうける程度は、土地利用形態や土地利用強度のほか、気候や土地の条件によって大きく異なっており、たとえばアジア地域において気温、降水量、土壤などの基本的な環境条件で土地を区分して土地荒廃との関連を考察した例 (立入ら, 1997) では、各土地区分ごとに土地荒廃のタイプやその度合いが大きく異なることが示された。また、土地荒廃の強さは、土地利用の大きさとも関連しているという結果が得られた。本研究ではアジア地域のなかで砂漠化現象がもっとも顕著にみられる中国内蒙古自治区東部の奈曼旗を対象地域としてえらび、自然条件と砂漠化の進

行の関連性を考察した。対象地域においては降水量などの気候条件にはそれほど大きな差はみられず、地形もしくは土壤といった土地条件が自然条件として砂漠化の進行に大きく関わっていると考えられた。そこでまずそれらをもちいて土地分類をおこない、各類型ごとの植被の年変動について、Landsat/MSS の画像から計算した植生指数を用いたモニタリングをおこなった。なお、奈曼旗を対象として衛星画像を用いて砂漠化の拡大を論じた研究として Landsat/TM を用いて 2 時点間の比較をおこなった例 (今川, 1996) や本研究と同じ Landsat/MSS を用いて乾季・雨季それぞれについて 2 時点間の比較をおこなった例 (森・古川, 1992) がある。本研究は、①70 年代から 90 年代までの同じ時季のデータが使える MSS を用い、2 時点間ではなくより多い 10 時点で比較した点、②観測年度の違う画像を比較するため裸地の反射を基準にして植被を量的にモニタリングできる指数である

\*,\*\* 東京大学大学院農学生命科学研究科

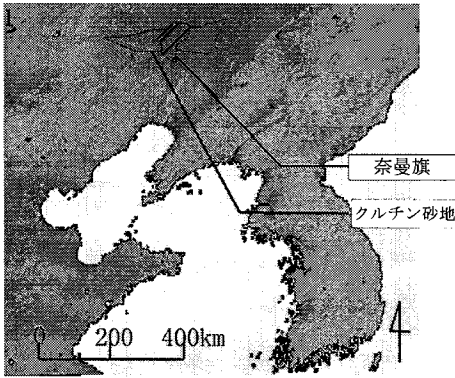


図1 クルチン砂地と奈曼旗の位置  
 図は1995年の6月下旬のNOAA/AVHRRのデータから求めたNDVI(正規化植生指数)であり、陸域では色が薄い程植生が濃いことを示している。

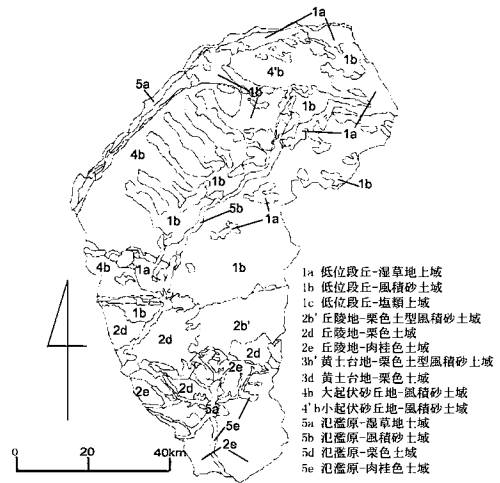


図3 奈曼旗の土地区分結果

TSAVIを用いた点, ③土地条件ごとの変化の違いを考察するためモニタリングに先立ち土地分類をおこなった点, が特徴である。

## 1. 手法

### 1.1 対象地の概要

本研究で対象とした中国内蒙古自治区哲里木盟奈曼旗は, 東経120°30'~121°30', 北緯42°30'~43°30'に位置し(図1), その面積は8,232.7km<sup>2</sup>である(Zhu *et al.*, 1988)。この一帯はクルチン砂地と呼ばれる面積約43,000km<sup>2</sup>の砂地草原を形成している。クルチン砂地は中国でもっとも大きな砂地草原の一つであり, また砂漠化が特に進んでいる地域でもある。奈曼旗の中心部に近い測定点で年平均気温は6~7℃, 年平均降水量は約360mmであり, その大半は6~9月に集中している(図2)(Zhu *et al.*, 1988)。この地域の砂漠化は, 大きく分けて①西北部で顕著な, 第四紀の湖沼堆積物からなる砂丘が, 植被が消失すること

によって再活動し流動砂丘となるもの(森・古川, 1992など), ②南部のレス地域で顕著な水による侵食(Zhu *et al.*, 1988など), ③最近見られ始めた土壤の塩性化(森・古川, 1992など), の3種類が見られる。

### 1.2 土地条件による区分

本研究では, 土地区分は地形と土壤を用いておこなった。地形分類図, 土壤図は中国科学院蘭州沙漠研究所をつうじて提供されたものである。土地区分はこの2つの地図の相互を読みとることによって得られ, 地理学的に意味を持つ単位とその区分がまとめられた。そして, さらに地形区分・土壤区分のそれぞれの誤差に由来する小さな区分は, 1つのものとして独立してみるべきだと認められないかぎり, 地形区分より精度が高いと思われた土壤区分を基礎として調整することにより図3のような土地区分図が得られた(井手・武内, 1985)。

### 1.3 砂漠化面積のモニタリング

砂漠化面積のモニタリングは, 衛星画像から計算された植生指数を用いておこなった。ここで用いた衛星画像はアメリカ航空宇宙局(NASA)が打ち上げたLandsat衛星のMultispectral Scanner(MSS)によるものであ

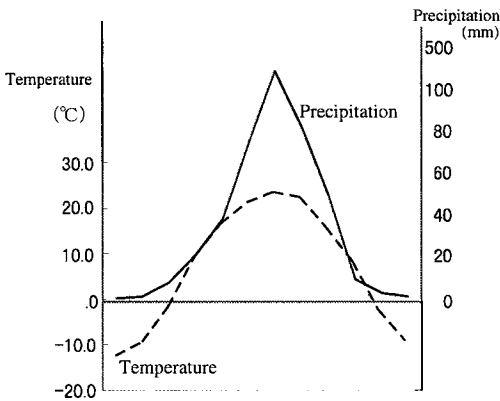


図2 奈曼の気候ダイヤグラム  
 (データは蘭州沙漠研究所による)

表1 解析に用いた衛星画像の観測年月日

1975. 09. 06
1979. 09. 21
1981. 09. 10
1983. 08. 24
1984. 09. 03
1985. 09. 06
1986. 09. 09
1992. 08. 24
1993. 08. 27
1994. 08. 30

る。画像の選択に際しては植生被覆の観測に適切な時期のうちで、ほぼおなじ時期でもっとも多くの年次が取得可能な時期を選んだ(雲量の多いものはカウントせず)。その結果解析には、表1に示されたような年月日に観測されたデータが用いられた。データは幾何補正のあと絶対輝度へ変換し、さらに Transformed Soil Adjusted Vegetation Index (TSAVI) をもとめて植生指数とした。TSAVI は、土壌自体の反射(の時間・空間変化)による影響を取り除くのに十分な数の変数をもっている(Baret & Guyot, 1991, Qi *et al.*, 1994)。算出式は下記のとおりである。

$$TSAVI = a(NIR - aR - b) / \{aNIR + R - ab + X(1 + a^2)\} \quad (1)$$

ここで NIR, R は、それぞれ近赤外、可視域赤色の輝度、a と b はそれぞれ soil line (土壌の反射を示す)の傾きと NIR 軸切片である。X は、植生量の実測データが十分ある場合は、もっとも適した値を代入するが、ここでは Baret & Guyot (1991)が用いた X=0.08 をそのまま用いた。TSAVI は裸地の場合は0となり、高密度な樹林に覆われている場合は0.7に近づく(Baret & Guyot, 1991)。

TSAVI を用いて砂漠化モニタリングをおこなうため、中国科学院沙漠研究所(1984)による砂漠化類型図のカテゴリと TSAVI の値を対応させて閾値を定めた。図4に、砂漠化類型図の元になったデータが得られた時期に近い1981年の画像における TSAVI の値の分布スペクトルを示

す。4つのカーブは、それぞれ砂漠化類型図中の重度砂漠化地域(裸地面積率50-100%)、強度砂漠化進行地域(同25-50%)、砂漠化進行地域(同5-25%)、非砂漠化地域の分布スペクトルを示している。以下の解析では、TSAVI が0以上0.12未満の地域を重度砂漠化地域、0.12以上0.17未満の地域を強度砂漠化進行地域、0.17以上0.24未満の地域を砂漠化進行地域、0.24以上の地域を非砂漠化地域とした。これらの閾値は、各カテゴリの頻度分布を正規化した場合に、ある TSAVI に対応する正規化頻度が4つのカテゴリ中最大になるものをその TSAVI に対応するカテゴリとすることで決定した(図4b)。このように決定された TSAVI、および砂漠化地域の土地区分ごとの変動を以下に報告する。なお、本研究では砂漠化地域の広がり进行评估の際、指標として TSAVI の平均値、重度砂漠化地域面積率および裸地率を用いた。裸地率は、裸地面積を全面積で除したものであり、裸地面積は砂漠化類型図中の各カテゴリの裸地面積率の中間値を用いて  $0.75 \times$  重度砂漠化地域 +  $0.375 \times$  強度砂漠化進行地域 +  $0.15 \times$  砂漠化進行地域で計算した。

なお、以下では各土地区分の名称は「低位段丘—風積砂土域」のように～域と記し、地形的もしくは土壌の特徴を共有する土地区分の集合を「低位段丘地域」(図3の1a,1b,1cの総称)「風積砂土域」(同じく1b,4b,5bの総称)のように～地域と記す。

## 2. 結果

各土地区分ごとの10年間の平均値を比べると、大起伏砂丘—風積砂土域において TSAVI の平均値が0.138ともっとも小さく、ついでその他の風積砂土域などでは0.20弱と小さかった。逆に TSAVI の平均値が大きかったのは、黄土台地地域あるいは湿草地土域で、値は0.24から0.25であった。また、裸地率や重度砂漠化面積率でみても、大起伏砂丘—風積砂土域がひととき大きな値をとり、つづいてその他の風積砂土域で大きな値となった。その他では、低位段丘—塩類土域や氾濫原—肉桂色土域などで大きな値となった(表2)。

つぎに、1970年代から1990年代までの砂漠化の進行をみるため、1993年(1994年は雲の影響が大きいカテゴリがあるため)の値と1975年の値の差を算出した。その結果 TSAVI、重度砂漠化面積率、裸地率のいずれの指標をとっても、風積砂土域と低位段丘地域で砂漠化の進行が顕著だった。一方、その他の地域では今回用いた指標からみれば、顕著な砂漠化の進行はみられなかった。また、砂漠化の度合いが比較的小さい砂漠化進行地域の面積率は、軒並み低下しているが、逆に重度砂漠化地域の面積率はほとんどの土地区分で増大している

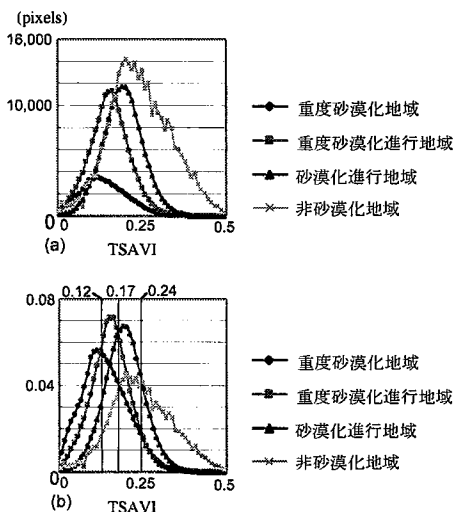


図4 砂漠化類型図と1981年のLandsat/MSSの画像から計算されたTSAVIの対応  
(a) 元データ  
(b) 比率の分布(確率分布の形になおしたもの)  
凡例は中国科学院沙漠研究所(1984)にもとづく

表2 各土地区分における10力年の指標の平均値

土地区分	平均TSAVI	重度砂漠化地域面積率(%)	強度砂漠化地域面積率(%)	砂漠化進行地域面積率(%)	非砂漠化地域面積率(%)	裸地率(%)
低位段丘-湿草地土域	0.243	14.8	12.6	21.1	51.5	18.9
低位段丘-風積砂土域	0.197	22.4	18.3	26.1	33.2	27.6
低位段丘-塩類土域	0.204	23.7	14.0	18.1	44.2	25.7
丘陵地-栗色土型風積砂土域	0.211	13.0	17.9	33.8	35.4	21.5
丘陵地-栗色土域	0.207	12.5	18.5	32.6	36.4	21.2
丘陵地-肉桂色土域	0.209	16.1	18.5	28.6	36.7	23.3
黄土台地-栗色土型風積砂土域	0.258	6.4	10.1	26.1	57.4	12.5
黄土台地-栗色土域	0.246	9.2	12.3	27.1	51.4	15.6
大起伏砂丘地-風積砂土域	0.138	41.5	22.4	22.0	14.0	42.9
小起伏砂丘地-風積砂土域	0.193	17.4	23.3	31.0	28.3	26.4
氾濫原-湿草地土域	0.236	15.0	11.5	20.0	53.5	18.6
氾濫原-風積砂土域	0.193	18.7	15.9	24.0	41.5	23.5
氾濫原-栗色土域	0.199	11.1	18.5	33.2	37.3	20.2
氾濫原-肉桂色土域	0.198	18.4	17.8	27.4	36.4	24.6

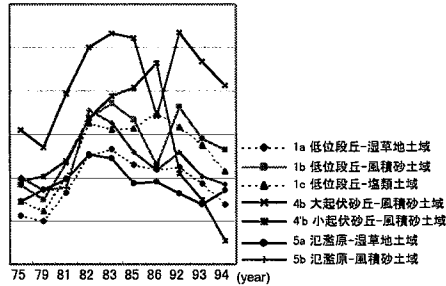
表中、重度砂漠化地域面積率、強度砂漠化地域面積率、砂漠化進行地域面積率は図4のようにTSAVIの分布から決められた。また、裸地率は $0.75 \times$ 重度砂漠化地域面積率 $+0.375 \times$ 強度砂漠化地域面積率 $+0.15 \times$ 砂漠化進行地域面積率で計算された。

表3 各土地区分における指標の1975年の値から1993年の値への変化 (正の値は増加、負の値は減少したことを示す)

土地区分	平均TSAVI	重度砂漠化地域面積率(%)	強度砂漠化地域面積率(%)	砂漠化進行地域面積率(%)	非砂漠化地域面積率(%)	裸地率(%)
低位段丘-湿草地土域	-0.003	9.1	3.5	-4.8	-7.7	7.4
低位段丘-風積砂土域	-0.015	14.4	3.5	-10.2	-7.7	10.6
低位段丘-塩類土域	-0.053	14.6	4.9	2.0	-21.4	13.1
丘陵地-栗色土型風積砂土域	0.039	6.9	1.7	-19.6	11.1	2.8
丘陵地-栗色土域	0.061	6.0	-1.1	-20.0	15.1	1.1
丘陵地-肉桂色土域	0.074	-4.4	-13.4	-20.0	37.8	-11.3
黄土台地-栗色土型風積砂土域	0.057	2.2	-0.4	-17.9	16.0	-1.2
黄土台地-栗色土域	0.041	2.1	-0.2	-15.9	14.1	-0.9
大起伏砂丘地-風積砂土域	-0.042	26.4	-3.8	-17.4	-5.1	15.7
小起伏砂丘地-風積砂土域	0.037	0.5	-4.6	-19.6	23.6	-4.3
氾濫原-湿草地土域	0.017	0.3	0.2	-6.5	6.1	-0.7
氾濫原-風積砂土域	-0.012	1.6	0.8	-8.7	6.3	0.2
氾濫原-栗色土域	0.003	4.1	5.3	-18.4	8.9	2.3
氾濫原-肉桂色土域	0.113	-6.9	-9.3	-17.4	33.7	-11.3

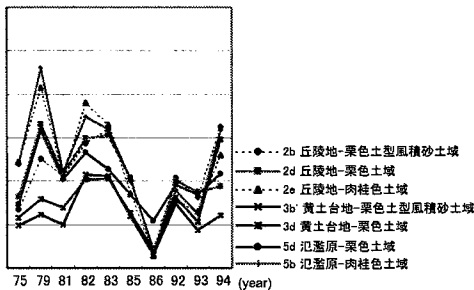
重度砂漠化地域面積率、強度砂漠化地域面積率、砂漠化進行地域面積率は図4のようにTSAVIの分布から決められた。また、裸地率は $0.75 \times$ 重度砂漠化地域面積率 $+0.375 \times$ 強度砂漠化地域面積率 $+0.15 \times$ 砂漠化進行地域面積率で計算された。表中の値はそれらについて1994年の値から1975年の値を減じたものである。

裸地率 (%)



(a) おもに北部に分布する土地区分の裸地率の変動

裸地率 (%)



(b) おもに南部に分布する土地区分の裸地率の変動

図5 各土地区分の裸地率の経年変化

いう特徴もみられる(表3)。つぎに、土地区分ごとの年次変動をみた(図5a,b)。1979年および1994年は南部の一部地域に雲がかかっており、また1986年は小起伏砂丘-風積砂土域が雲に覆われている。これらでは実際よりも裸地率が大きく評価されているため、そうしたデータのあつかいには注意が必要である。裸地率の変動を概観すると、ほとんどの区分において、1981年までは細かく振動するが、1982-83年にはピークをむかえ、その後1986年に極小となる。1990年代に入ってからは、1992年が最大で、1993-94年は漸減という結果になっている(雲がかかっている地域は除く)。区分された地域ごとにみると、大起伏砂丘-風積砂土域をはじめ風積砂土域や肉桂色土域で比較的年ごとの変動が大きく、湿草地土域や黄土台地地域では変動が比較的小さかった。なお、小起伏砂丘-風積砂土域では大規模な開発が原因となって、1990年代の裸地率の大幅な減少がひきおこされた。

### 3. 考察

解析結果を吟味するに先立ち、各土地区分の関係をまとめておく。奈曼旗が含まれる西遼河の平原は、第三紀の後期に断層が生じた地域であり、奈曼旗の土地条件は、その断層の北側と南側とで大きく異なる。北部では、第三紀の堆積物の上に更新世中期の沖積ないし湖成堆積物が厚く覆い、さらに更新世後期の沖積堆積物や完新世の

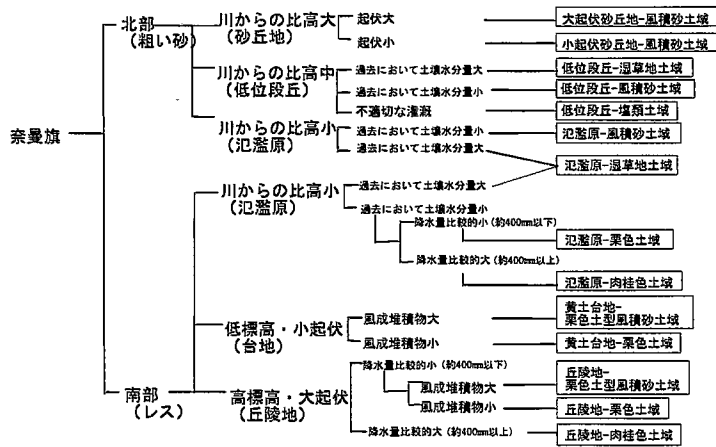


図6 土地区分の関連図

沖積もしくは風成堆積物である粗い砂が覆っている。南部では、第三紀の堆積物の上に更新世中後期の風成堆積物であるレスがおおっている (Zhu et al., 1988)。北部の大部分は風積砂土におおわれている。風積砂土は、沖積もしくは風成堆積物を砂の給源とし、それらが風により再堆積したものを母材とする土壌である。これは植生の発達に伴って流動風積砂土→半固定風積砂土→固定風積砂土と順次土壌化が進み、やがて成帯性土壌へと発展する。この地域の成帯性土壌は、栗色土もしくは砂漠 (灰色) 土と考えられる。北部のうち、地下水位が高く土壌水分が十分な地域では、半成帯性土壌である湿草地土が発達している。土壌の性質には地下水位が大きく影響する (中国科学院南京土壤研究所, 1983)。なお、近年は灌漑などによって塩類土などもみられるようになった (森・古川, 1992)。一方、南部には、おもに、レスを母材とする半乾燥地の成帯性土壌である栗色土と肉桂色土が分布する。これらの分布は降水量に依存し、年降水量およそ400mm以下の地域では栗色土ないし栗色土型風積砂土が、年降水量がそれ以上の地域では肉桂色土が分布する。つまり寄与がそれほど大きくないと思われた気候条件がこのような間接的な形で土地の環境条件に影響をおよぼしている。なお氾濫原に風積砂土地域があるのは、①川の流れが後に変わった、②飛砂が氾濫原の一部をおおった、などの理由によると考えられる。以上をまとめて各土地区分の関連図として図6に示した。図6は、区分のアルゴリズムを示したものではなく、区分結果を系統的にまとめたものである。

解析結果と図6から、土地区分の境界となる土地条件が砂漠化面積変動とどのような関わりをもつかをみる事ができる。本研究で用いた手法は、地表の反射率を用いるため、砂丘再活動にともなう植生の後退をモニタリ

ングするのにとくに適している。そのため各指標をみると北部の砂漠化が南部のそれに比べて著しく進んでいるようにみえるが、実際には南部では水食による別のタイプの砂漠化が進んでいることが蘭州沙漠研究所などから報告されている。水食による土地荒廃を効果的に把握するためにはさらなる工夫が必要であることが示唆されている。北部では湿草地土地域と風積砂土地域の差、あるいは氾濫原地域、低位段丘地域、砂丘地地域の差がそれぞれ顕著であり、それらの組み合わせとして土地条件による砂漠化の度合いの違いを整理することができる。一方南部では黄土台地地域では砂漠化の被害が小さく、他の地形域と大きく異なる。肉桂色土地域は、栗色土地域と比べて有機物を多く含んでいるのにも関わらず植生が疎であった。これは、水食による土地荒廃がとくにこの地域で進んでいることを示唆する。

とくに北部の土地区分ごとの砂漠化面積の年次変化のようす (図5a) はこの間の降水量の変化 (図7) と対応させて論ずることができる。すなわち、1975年から79年までの比較的降水量が多い時期のあと、80年から83

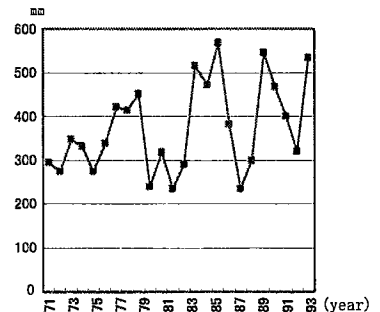


図7 奈曼旗の年降水量の変化 (データは中国科学院蘭州沙漠研究所による)

年までは非常に降水量が少なかった。これを受けてどの土地区分でもこの間に裸地面積が増加している。その後84年から86年までは再び降水量の多い時期となり、裸地率も低下するが、70年代の水準までは回復していない。さらに90年代は比較的雨の多い年が続いており、それに伴って裸地率も徐々に低下した。土地区分ごとにみると、一般に裸地率の大きい土地区分ほど年ごとの差が大きく、その結果乾燥期では湿潤期に比べて土地区分ごとの裸地率の差が大きくなる。また、大起伏砂丘—風積砂土域と低位段丘—風積砂土域は値は異なるが年変動の傾向は非常に似かよっている。その他でも、年変動の傾向は土地区分に、値の大きさ(定数項)は地形区分により大きく依存することが示唆された。

これに対し南部では(図5b)、各土地区分とも年変動のようすが似かよっていた。土地区分ごとでは、肉桂色土地域では栗色土地域に比べて裸地率が高かった。

北部、南部とも、降水量の変化によって変動しつつ、徐々に砂漠化面積が拡大しているように思われた。

また、ここでは土地利用圧に関する定量的考察をおこなっていないため、本研究の結果がそのまま生物生産に対する土地のポテンシャルを表している訳ではない。しかし、経済に関する統計資料や現地調査の結果から、本研究で植被がより豊かであると結論された土地区分が、そうでない土地区分に比べて土地利用圧が低かったとは考えにくく、むしろ逆により高い土地利用圧をうけてきたと考えられる。そのため、土地区分ごとのポテンシャルは、順序は基本的に本研究の結果のとおりであり、それぞれの差は本研究の結果よりさらに大きいことが予想される。

## 引用文献

- Baret, F. & Guyot, G. (1991) : Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment : *Remote sens. environ.* **35** 161-173.
- 中国科学院南京土壤研究所主編 川瀬金次郎・菅野一郎訳 (1983) : 中国土壤—改良・性質・肥沃度・生成分類— : 博友社, 1020pp.
- 中国科学院沙漠研究所 (1984) : 奈曼旗・庫倫旗・科尔沁左翼后旗沙漠化類型図
- 井手久登・武内和彦 (1985) : 「自然立地的土地利用計画」 : 東京大学出版会, 東京 227pp.
- 今川俊明 (1996) : 宇宙から見た中国東部の砂漠化 : 土壌の物理性 **74**, 29-37.
- 森昌弘・古川郁夫 (1992) : 中国北東部科尔沁沙地の砂漠化動態の解析 : 日本砂丘学会誌 **39** (2), 12-19.
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H. and

## おわりに

地形、土壌を用いて土地を区分し、その区分ごとに衛星画像を用いた砂漠化進行のモニタリングをおこなった。

その結果、各土地区分ごとに砂漠化面積の年次変動に特徴がみられた。全体としてみると降水量と密接な関係をもって植被が変動することが示唆され、そのようすは地形区分・土壌区分といった土地的条件と関係が深いことが示された。また、砂漠化進行地域が減少し、重度砂漠化地域が増えていることから、被害を受けていない地域と重大な被害を受けている地域とに二極分解していくことが示唆された。

なお今回は自然的要因をのみ解析対象としたが、砂漠化のもう一つの原因といわれる人為的要因については今後考察し、生物生産に対する土地のポテンシャルを推定した上で効果的な土地利用配置のあり方について考えていきたい。

## 謝辞

本研究で用いた地形分類図、土壌図は中国科学院蘭州沙漠研究所より提供をうけた。資料提供とともに現地調査で協力いただいた蘭州沙漠研究所の王濤氏、同研究所奈曼ステーションの趙哈林所長、常学礼氏、また本研究の遂行のために多大な便宜を図っていただいた今川俊明氏、谷山一郎氏、大黒敏哉氏、白戸康人氏(以上農林水産省農業環境技術研究所)に深く感謝したい。なお、本研究は環境庁の地球環境研究総合推進費(1995-97年度採択プロジェクト:G-1 砂漠化防止対策適用効果の評価手法の開発に関する研究)による研究成果の一部である。

- Sorooshian, S. (1994) : A modified soil adjusted vegetation index : *Remote sens. environ.* **48** 119-126.
- 立入 郁・恒川篤史・武内和彦 (1997) : 環境特性に基づくアジア地域の土地分類と耕作強度・土壌荒廃パターンとの関連性 : 第11回環境情報科学論文集 69-74.
- UNEP (1992) : *World atlas of desertification* : Edward Arnold, London, 69pp.
- Zhu, Z., Zou, B., Di, X., Wang, K., Chen, G., Zhang, J. (1988) : *Desertification and rehabilitation - case study in Horqin Sandy Land* : Institute of desert research academia sinica, Lanzhou, 113pp.