

中国北東部クルチン砂地における地下水位が砂漠化に及ぼす影響

The Contribution of the Ground-water Table to the Desertification in the Kerqin Sandy Land in the Northern Part of China

立入 郁* 武内和彦*

Kaoru TACHIIRI Kazuhiko TAKEUCHI

摘要：摘要：中国内蒙古自治区奈曼旗北部において、土地条件の決定要因として地下水位をとりあげ、砂漠化強度との関係を調べた。地下水位の測定は1998年夏に47カ所でおこなった。つぎに測定値の空間分布と周辺の砂漠化進行程度との関連を調べた。砂漠化の指標としては既存の砂漠化類型図から計算した周辺の裸地率を用いた。この際土地利用圧を考慮した。土地利用圧の指標は1965年と1990年の耕地面積率を考慮した。土地利用圧が極端に大きい地域を除けば、地下水位が3 m以深の地域では地下水位が3 m以浅の地域より周辺の裸地面積があきらかに大きかったため、これを閾値として土地区分をおこなった。

1. はじめに

近年、土地荒廃を防ぐ手段として持続的土地利用システムの確立の必要性が高まっている。そのためには、土地自然の特質を生かし、適正な生物生産が持続できるような土地利用の再構築が必要だとされる¹⁾。脆弱な条件の下にある乾燥地においてはその重要性はさらに高い。筆者らによる中国内蒙古奈曼旗を事例地域として、衛星画像を用いて砂漠化のモニタリングをおこなった例²⁾では、植生被覆の変動は地形・土壌タイプを考慮して得られた土地環境区ごとに異なったものとなっていた。このほかに乾燥地においては水の供給量が生産性の決定条件になることが多いため、土地条件を規定する要素として水に関する条件を考慮する必要がある。奈曼旗北部はクルチン砂地とよばれる大きな砂地に含まれており、更新世中期の河成ないし湖成堆積物の厚い層に覆われている。ここでは透水性の高い砂に西方から流れ込む大川や南方の降水量が多く標高の高い黄土台地からの十分な水分供給があるため、地下水位が高く水の供給量の多い良質の帯水層を形成している。このため地下水が重要な水分供給源となっている。増田³⁾によれば砂丘地において地下水位が土壌水分に顕著な影響をおよぼすのは地下水面から1 m程度までであるが、3 m程度まではわずかに影響が残る。この地域では、蘭州沙漠研の観測や大黒⁴⁾の報告から地下水位がその閾値付近であることがわかっている。このことから、奈曼旗北部では、場所によってこの閾値より地下水位の高いところと低いところが存在し、それぞれ土地の条件が大きく異なることが予想される。また、サイトレベルでは、地下水位が低ければ生育できる植物種が限られ⁵⁾、生育できる種も地下水位が低いときには地上部の面積が減少する⁶⁾などの報告がなされている。以上のような理由から、ここでは地形・土壌に次ぐ土地条件の決定要因として地下水位に注目する。厳密な議論にはもちろん経時的な測定をおこなうべきであるが、ここでは1年でもっとも地下水位の高くなる雨季の終わりの観測値をもちいて、地域的な差に注目して議論を進めた。測定地点について周辺の砂漠化進行度合いを考察することで、対象地域の土地条件を規定するものとして地下水位を考慮することの妥当性を論じたあと地形・土壌のほか地下水位を考慮した土地環境区分をおこなう。この区分は自然立地の区分を目的としているため、人為のインパクトが強い地域はあつかいを分けた。

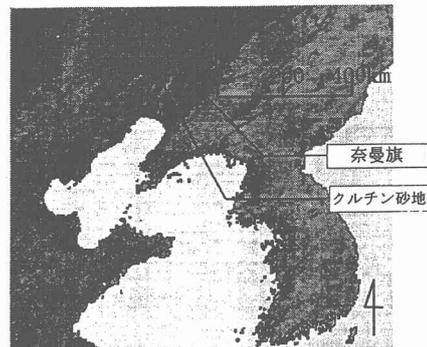


図-1 クルチン砂地と奈曼旗の位置

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。

なお、本論文では地下水位は地下水面と地表との距離をあらわし、地下水位の値が小さいことを「地下水位が高い」と表現することとした。

2. 対象地の概要と研究方法

(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8,232.7km²である⁷⁾。この一帯はクルチン砂地と呼ばれる面積約43,000km²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。年平均気温は6~7℃、年平均

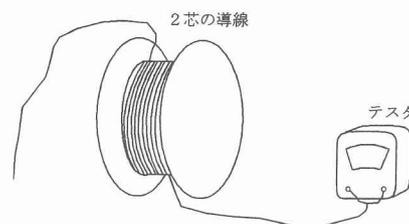


図-2 地下水位測定に用いた装置

*東京大学大学院農学生命科学研究科

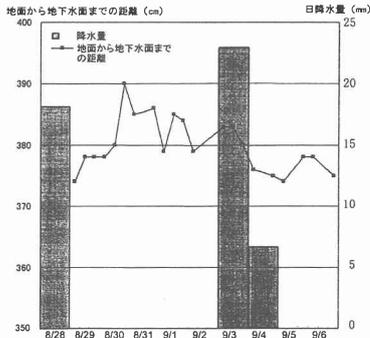


図-3 沙漠研究所奈曼ステーションにおける日降水量と地下水位の変動

地下水位は一日1-3回朝、昼、夕に測定、降水量は一日単位

降水量は約360mmであり、その大半は6~9月に集中している⁷⁾。また降水量と可能蒸発散量の比による国連の乾燥地分類⁸⁾では、半乾燥地域と乾性半湿潤地域の境目にあたる。

この地域の砂漠化は、大きく分けて①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^{9),10)}、②南部のレス地域で顕著な水による侵食⁹⁾、③最近見られ始めた土壌の塩性化¹⁰⁾、の3種類が見られる。本研究で対象地とした奈曼旗北部ではとくに①の再活動が目立っている。

(2) 研究手法

本研究は、①地下水位の測定、②地下水位と砂漠化進行との関連の考察、③土地条件決定要素としての地下水位の位置づけ、の手順ですすめた。

地下水位の測定は、1998年の8月29日から9月6日の間に中国内蒙古自治区奈曼旗北部でおこなった。この時期は雨季の終わりにあたり、蘭州沙漠研究所の測定によれば1年の中でも地下水位のもっとも高い時期である。測定には農民が通常使っている井戸を用いた。井戸の構造上、導線を細い穴に通す必要があったため、図-2のような装置を用いた。この装置は、導線とテストからなっている。測定は、①井戸のカバーをはずし、導線を井戸の中におろしていく、②導線の先端が地下水に着水した際の電気抵抗の急激な低下をテストで読みとる、③導線を引き上げ、メジャーで着水点までの長さを測る、④測定開始点の地面からの高さを測り、③の測定値から減じ、地面から地下水面までの距離を算出する、の手順を進めた。測定点は奈曼旗北部の可能な限り広範囲をカバーするように注意した。なお、この調査では地下水位の空間分布の観察を目的としているため、地点ごとの観測値を空間分布として扱うために、この間の地下水位の時間変化の傾向について論じておく必要がある。そのため中国科学院蘭州沙漠研究所奈曼ステーション内にある井戸において、9日間、一日1-3回の測定をおこない、対照値とした(図-3)。なお9日間に2回、計

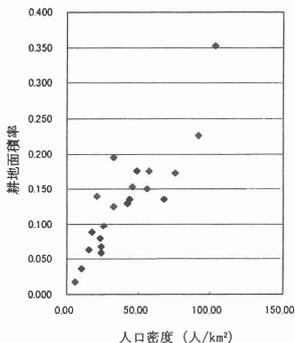


図-4 奈曼旗北部の各郷の人口密度と耕地面積率

人口密度、耕地面積率ともに1965年の値と1990年の値の平均値データは奈曼旗統計局(1966, 1991)による

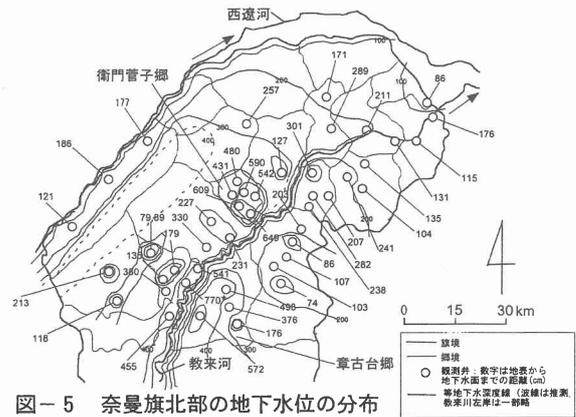


図-5 奈曼旗北部の地下水位の分布

観測値を考慮して等地下水位線を記入した

*は蘭州沙漠研究所奈曼ステーションのデータ

その他の観測値は1998年の筆者らの測定による

29.8mmの降水があったが、地下水位は大きくは変動しなかった。これから他の地点のデータの時間的変動は、空間的変動に比べて十分に小さいと考えられた。

つぎに測定した地下水位と、周辺の砂漠化進行程度との関連性を考察した。周辺の砂漠化進行度の考察には中国科学院発行の砂漠化類型図¹²⁾を用いた。この類型図では砂漠化地域が裸地の比率によってが重度砂漠化地域(裸地率50-100%)、強度砂漠化進行地域(同25-50%)、砂漠化進行地域(同5-25%)、潜在砂漠化地域(同5%以下)に分類されている。ここでは非砂漠化地域との境界がしばしば不明瞭な潜在砂漠化地域は考慮せず、そのほかの3種の地域の分布から、観測点周辺の砂漠化のようすを評価した。これは観測点周辺のある程度の拡がりにおける砂漠化の進行状態を評価するのが目的であり、その範囲としては図-5から、観測点を中心とする一辺10kmの正方形内が適当であろうと考えた。その際、10km圏内に他の観測点が含まれる場合も、もとの観測値の影響圏でもありと考え、そのまま指標を算出した。指標としては(0.75×重度砂漠化地域面積率+0.375×砂漠化進行地域面積率+0.15×砂漠化進行地域面積率)によって算出される推定裸地率を用いた。この式の係数の決定は、砂漠化類型図の分類の際の各カテゴリーの該当裸地率の中間値を用いた。

地下水位と周辺の裸地率の関連を調べる際、土地利用による変化がとくに大きい場合にはその影響の方が出てしまうことが考えられたので、土地利用圧も考慮に入れた。本研究では土地利用圧の指標として郷の区分が現在のものになった1963年と、データのあるもっとも新しい年である1990年の郷ごとの耕地面積率の平均を算出し、用いた。なお、対象地域においては耕地ではトウ

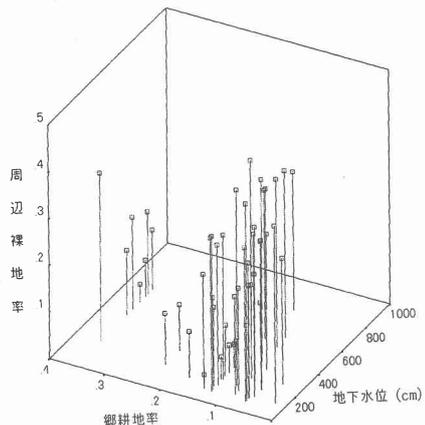


図-6 地下水位、周辺裸地率、郷の耕地面積率の関係

モロコシ、コウリヤン、アワ、コムギ、イネなどがおもに生産されている。図-4に人口密度と耕地面積率について、1963年と1990年の平均値を算出し、布置したものを示す。人口密度と耕地面積率には明確な正の相関があることがわかる。

3. 結果

図-5に測定した地下水位の分布を示す。観測点数は47点である。これに蘭州砂漠研究所奈曼ステーションの測定点1点を加えた48点の平均水位は261cmであった。内訳は、100cm未満の場所が5ヶ所、100-200cmが16ヶ所、200-300cmが11ヶ所、300-400cmが4ヶ所、400-500cmが4ヶ所、500cm以上が8ヶ所であった。地域別では北東部で地下水位が高く、南部、とくに教来(Jiao-Lai)川沿いの地域などで地下水位が低かった。図中には地下水位の一般的な傾向をもとに測定値を補完して得た等地下水位線をも記入した。ここで考慮した一般的傾向とは、①一般に地下水面の起伏は地表の起伏に似ていることが多く、起伏の量は前者が後者より小さい、②湧泉個所や天然河川の水面の高さは、その点の地下水面の高さを示している、である⁵⁾。

図-5に地下水位と周辺裸地率、耕地面積率の関係を示す。ほとんどの点では地下水位が高いものは周辺裸地率小、地下水位が低いものは周辺裸地率大となっているのに対し、耕地面積率のひととき高い地域の観測点では他の地域と明らかにことなつた傾向を示した。

4. 考察

図-5で、耕地面積率がひととき高い地域の点(7点)を除く

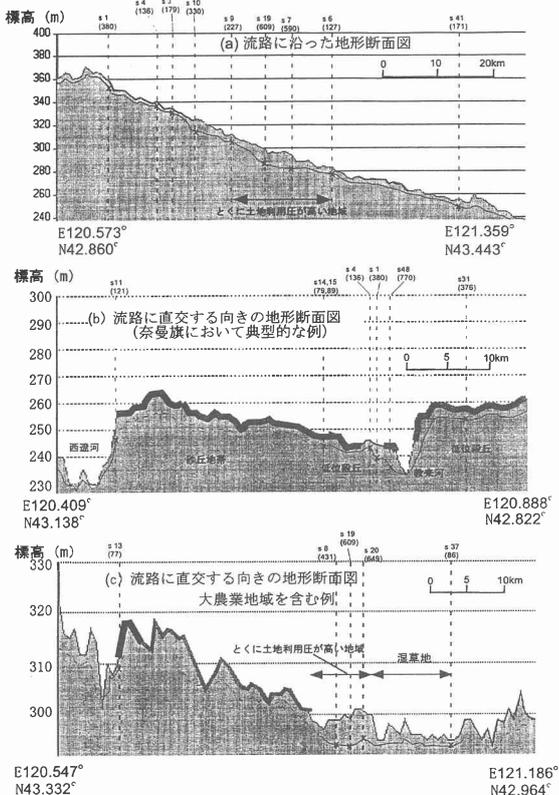


図-7 奈曼旗北部の地形断面と地下水位面のようす
標高のデータはUSGSのgtopo30データベースを使用
X: 観測点 (s##はsite No. を、括弧内の数字は観測値を示す)
— 砂漠化進行地域
— 強度砂漠化進行地域
— 重度砂漠化地域
— その他は非砂漠化地域

と、地下水位3m以上の点(10点)の周辺裸地率の平均および標準偏差は、31.2(平均)±9.9(標準偏差)(%)であった。これは地下水位3m以下の点(31点)の周辺裸地率22.2±10.9(%)とくらべ、あきらかに大きい。このことから地下水位が3mを越えるか否かが土地条件に寄与していると判断された。耕地面積率、人口密度のとくに大きな地域は灌漑および生活用水の使用が特に大きい地域と考えられ、狭い地域のデータが他の地域と異なつた傾向を示していることで、別の要因を考慮すべきと考えたため、解析段階でわけてあつた。

つぎに対象地域内にいくつかのトランセクトを引き、ラインから近い観測値を用いて地形断面図に記入した(図-7)。図-7(a)は川の流れにほぼ沿つた方向に切つた断面図であり、図-7(b)、7(c)はそれとほぼ直交する方向にとつた断面図である。7(b)は奈曼旗の典型的なものであり、7(c)はここではわけて扱つた土地利用圧のとくに高い郷を通るように切つたものである。7(a)では、南から北へと地表面の標高が下がり、それとともに地下水位面も下がって行くが、土地利用圧のとくに高い郷ではその下がり方が顕著であった。その他の地域は地下水位が比較的高く、弱い砂漠化のみが見られた。7(b)では、奈曼旗北部の土地条件の東西方向のうつりかわりがよく示されている。西遼河から急激に標高が上がつて砂丘まで移り変わる地域は環境傾度が非常に大きく、土地利用もそれに依つて変化する。砂丘地帯は地表の標高自体も高いため、地下水位が大きいことが予想されるが、それにもましてこの地域の有効な土地利用を困難にしているのはその上に発達した流動砂丘である。1996年に同地域でおこなつた筆者らの調査では、丘間部から砂丘頂部までの高低差は8-10mであり、ここで論じた地下水位のレンジを上回つていた。雨季だけに現れる川のそばを除けば生産活動は非常に難しい地域である。その東側には低位段丘が広がる。東に向かうにつれ標高が下がり、起伏も小さくなって生産活動の可能な土地へと移り変わる。site14やsite15は小清河という名の季節性の河川のそばにあり、局所的に地下水位が高い。site4周辺は教来川の旧流路ともいわれており、とくに地下水位が高く、砂漠化も進んでいない。さらに東へむかうと、教来川へと地形は急激に落ち込むが、その直前に地下水位は下がる部分がある。これは、地下水位面が地形の急激な変化に対応し、手前からなだらかに下降していくことに起因すると思われた。このことは理論的な予測とも合致する。さらに教来川の右岸にも左岸と同じく地下水位の低い地域があつた。7(c)は耕作地面積率、人口密度が極端に高い衛門管子郷を含むように切つた断面図である。もっとも標高の低い部分は教来川の流路となつており、湿地性の植物の生育する低地を形成している。土地利用圧集中郷はこれより少し西側に位置し、標高もその低地よりも数m高いが、地下水面はむしろ低いぐらいであり、この地域の水の利用の集中性を示唆している。そ

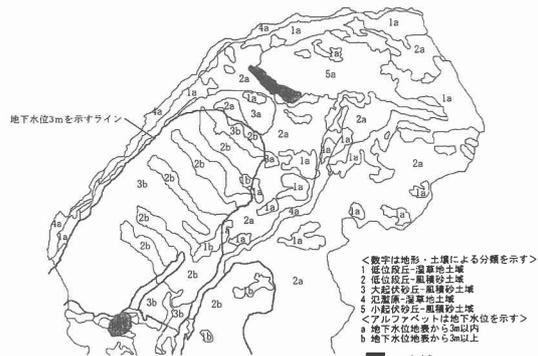


図-8 奈曼旗北部における地下水位を考慮した土地分類図

他の地形分布の傾向は、7 (b) と変わらないが、下流に位置する分、起伏も小さく、砂漠化の進行も緩やかであった。

最後に、地形図、土壤図に加えて図-5を考慮し、これらをオーバレイ手法で結合させると、あらたに地下水位の分布を考慮した土地環境区分が可能になる。その結果を図-8に示す。さらに観測点を増やすことやほかの時季の測定をおこなうことで、この区分図をさらに精密なものにしていくべきである。なお、この区分では極端に土地利用圧が大きかった郷は人為の改変の効果が大きいと考えられたため、地下水位3m以上の点としては扱わなかった。各種の土地条件の関連をまとめると表-1のようになる。この表でとくに土地利用圧が高かったところは、人為の改変の方が卓越している地域と考え、右端に記した。

クルチン砂地のような脆弱な土地において有効な土地利用をおこなうためには、土地の自然条件をとくに正しく理解することが必要である。図-8から、地下水位の自然立地条件を考慮した土地利用を考えるならば、水を大量に用いる農業的土地利用は川沿いなどの局所的な利用の他はおもに北東部もしくは東部の地下水位の高い地域でおこない、南東部は水の使用の少ない牧畜を主体にするべきだともわれた。ただし牧養力の点でも北東部は南東部より大きいことが予想される。また近年、北東部に位置した小起伏の砂丘地に大規模な開発プロジェクトが進んでいる。これは防風・防砂林の建設の後、営農・定住化を進めていくものであるが、衛星画像から見るかぎりこのプロジェクトによる地表面の改変は1990年代になって本格化した。この地域の地下水位は他の地域の傾向と矛盾していない(図-5)こと、現在の土地利用形態になってまだ間がないことなどから改変の度合いは少ないと考えられる。このことから自然条件に即した土地利用という観点から見てこのプロジェクトの開発地は妥当なものであったといえる。本研究の結果から、地下水位が下がってからも、農業的土地利用を続けることが可能な場合もあるが、これは自然条件を大きく改変し続けることであり、自然条件に即した土地利用という観点から見ると適当であるとは言えない。とくに乾燥した地域では一

表-1 奈曼旗北部における土地条件の関連

地形	大起伏砂丘		低起伏砂丘			
	風積砂土	風積砂土	風積砂土または風積砂土		風積砂土	
地下水位	高い(3m以下)				低い(3m以上)	
土地利用圧	大	小	小-大	大	小	きわめて大
周辺裸地率	大		中	小	大	小
1930s: 土地被覆	葉落・農地	葉落・砂丘地	(特徴なし)	農地	葉落以外	葉落
例	西遼河沿い	丘間の低地	砂丘地の外縁部	事例多し	北東部の平原など	窟古台郷・教条川の砂丘上

注: 人為の改変が著しいと思われる地域

般に水の安定供給は生産に対する重要な条件となるため、いずれの地域においても地下水位の分布を含む土地の水文学的な性質を考慮することが重要であると考えられる。

5. おわりに

中国内蒙古自治区奈曼旗の北部において、この地域の土地の条件に大きな影響を与えている要因のひとつだと思われた地下水位の調査をおこない、周辺の砂漠化の程度との関係性をしらべた。その際、耕地面積率を考慮した。その結果、耕地面積率が極端に高い地域をのぞくと、地下水位が土地条件を左右するファクタとして効いていたため、3mの等地下水位線を考慮して土地分類をおこなった。各土地条件において自然立地と土地利用強度との寄与度の定量的な評価は今回はあつかうことができなかった。今後の課題としたい。

謝辞

本研究に含まれる調査においては、中国科学院蘭州沙漠研究所奈曼ステーションの趙翰林所長、張銅会氏にお世話になった。また、研究を進めるにあたっては農林水産省農業環境技術研究所の今川俊明氏、大黒敏哉氏に大変お世話になった。調査方法に関しては東京大学大学院農学生命科学研究科鈴木雅一教授にもお話を伺った。ここに記して感謝の意を表したい。

引用文献

- 1) 武内和彦 (1996): 東アジアの土地荒廃と持続的土地利用システムの確立: 農村計画学会誌 14(4), 3-6
- 2) 立入 郁・武内和彦 (1998): 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: 第12回環境情報科学論文集 107-112
- 3) 増田拓朗・小林達明・吉川 賢・森本幸裕・小橋澄治 (1988): 毛烏素砂地における土壌水分条件: 緑化研究 10, 30-41
- 4) 大黒敏哉・根本正之 (1997): 中国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: ランドスケープ研究 60(5), 495-500
- 5) 山本莊毅 (1983): 「地下水調査法」: 古今書院, 東京, 490pp
- 6) 根本正之・大黒敏哉・原蘭芳信・宮田明 (1995): 植物群落での微気象及び植物生理・生態機能に関する実験及び調査: 科学技術振興調整費, 砂漠化機構の解明に関する国際共同研究 第II期成果報告書, 303-357
- 7) 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
- 8) UNEP (1992): *World atlas of desertification*: Edward Arnold, London, 69pp
- 9) 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
- 10) 森昌弘・古川郁夫 (1992): 中国北東部科尔沁砂地の砂漠化動態の解析: 日本砂丘学会誌 39(2), 12-19
- 11) Goward S. N., Tucker C. J. and Dye G. D. (1985): North American vegetation patterns observed with the NOAA-7 advanced very high resolution radiometer: *Vegetatio* 64 3-14
- 12) 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
- 13) 大日本帝国陸地測量部 (1933): 地形図 10万分の1 「開魯」「チェールト王府」「ホルスタイ」「周 営子」「朝哈拉哈王府」「阜新」「東土黙特王府」
- 14) 大日本帝国陸地測量部 (1935): 地形図 10万分の1 「メンチカスーム」「ネエム営子」「開包営子」「梧桐好懶」「興隆地」「宝国図」「高家梁」
- 15) 奈曼旗統計局 (1966,1991): 奈曼旗国民経済統計資料摘要 (1965,1990年度)

Summary: Ground-water table, one of the determinants of land condition in drylands, was surveyed at forty-seven sites in the northern part of Naiman County, Inner Mongolia, China in the early autumn of 1998. The relationship of the observed values and bare land rate around observation site was analyzed. Bare land rate was estimated for a square with 10km sides around the observation sites using desertification classification map. The effect of land use was considered during analysis. The index of land use was calculated from the rate of cultivated land in each village. If the sites with remarkably intense land use was extracted, bare land rate was higher around the site with deep ground water table over three meters and lower around the site with shallow ground water table under three meters. Finally the land classification map considering ground-water table was developed using the criterion of three meters.