

H-3 中国における土地利用長期変化のメカニズムとその影響に関する研究

(4) 中国北部・東北部地域の持続性可能診断用デジタル地図セットの構築に関する研究

中華人民共和国中国科学院地理科学与自然资源研究所

王 勤学

環境省国立環境研究所

水圏環境部

大坪国順

北海道教育大学旭川校

氷見山幸夫

平成 10～12 年度合計予算額 6,210 千円

(うち、平成 12 年度予算額 2,070 千円)

[要旨]

中国北部・東北部は、中国の主要な食糧生産基地の一つである。本地域における土地生産性の維持もしくは向上は、21 世紀の中国の食糧需給や持続的な農業発展にとって非常に重要なことと考えられる。本研究では、この地域における地形、気象、土壌、土地被覆および土地利用等の 1-km デジタル地図セットを含む土地生産性地理情報システム(GIS)を構築した。このシステムは 1km メッシュでの気象、土地利用、土壌、土壌水分等一連のデジタルマップと、種々の制限因子下での土地潜在生産性を評価する一連のサブモデルとを含んでいる。これらを基に水分不足指数などいくつかの有効係数を求める新たなモデルを開発し、それぞれ制限条件下での各主要食糧作物の潜在生産性、即ち、光合生産性、光温生産性、気候生産性、および土地生産性など及び可能増産量を推定し、1km メッシュデジタルマップを作成した。その結果から以下のことが分かった。(1) 土地潜在生産性から見ると、東北地域の東部平原区はイネ、中部はトウモロコシ、北部と東部山区はダイズの最適栽培区である。(2) 増産可能量から見ると、温度条件の改善による増産可能量は南西から北東へ次第に減少する。水分条件の改善による増産可能量は西部の乾燥地域と東南部の低湿地域で大きいが、中部平原区で小さい。農業技術の改善による増産可能量の分布は複雑であるが、全般的に東から西へ、北から南へ増大する。1979-1996 年の間の収穫量の増加傾向から、当該地域の全域にわたって光温生産性を実現するには 50-60 年を要すると見積もられた。

[キーワード] デジタル地図、潜在土地生産性、中国北部・東北部、土地利用、農産物増産可能量

1. はじめに

中国では、過去十年間に急速な経済、社会、および環境の変化が生じた。それに応じて、土地利用・被覆も変化し、将来もさらに変化すると考えられる。土地利用・被覆の変化は、地球温暖化、土地退化、生物多様性の減少、および土地生産性の低下に密接に関係する。土地生産性には数多くの因子が関与しており、その中には、地理・植物生理学的な要因ばかりでなく、社会・経済的な要因も含まれている。この包括的な特性量を適切に評価するためには、植物生理学的な要因、自然環境要因と人為的要因を結び付けた研究が必要となる。このような研究は、系統的な調査、観察とモデル化などのアプローチを有効につなぐことにより可能となる。その基礎として、

諸因子に関するデータベースを作り統合する必要がある。

この認識に基づき、LU/GEC プロジェクトの一環として、中国北部・東北部地域における土地生産性を評価するための地理情報システム (LPGIS) の開発を目指した。このシステムは 1km メッシュの気象、土地利用、土壌、土壌水分等一連のデジタルマップ、と種々の制限因子の下での土地潜在生産性を評価する一連のサブモデルを含んでいる。このシステムを用い、種々の制限因子の下での土地潜在生産性、例えば、光合潜在生産性、光温潜在生産性、気候潜在生産性、および土地潜在生産性などを評価し、それらの 1km メッシュデジタルマップを作成した。

1950 年代以降、潜在生産性に関する研究に関心が集まっており、経験モデル、統計モデル、およびプロセスモデルなど、さまざまな計算方法が開発されてきた。経験モデルは、農産物生産高と土壌の特性の関連についての地元の専門家や農業生産者の経験を集約した方法である。統計モデルは、土壌水分、気温、降水量、土壌深度、pH 値、N/P/K 含有率、および土壌構造と、農産物生産高との統計的関連から潜在生産性を推定する方法である^{1),2),3)}。プロセス モデルは、土壌の養分、水分、および気候条件と、農産物生産高との間のメカニズムを解析することによって潜在生産性を推定する方法である⁴⁾。プロセス モデルに関する基本的な研究とは、物質の運搬過程、水分の蒸発散過程、CO₂ の吸収・放出過程、および養分の吸収過程を解析することである。しかし、これらの過程は、小規模な調査スケールでは完全に解析されておらず、ましてや大規模な地域スケールにおいてはまだ解析されていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、中国北部・東北部における穀物の増産可能量を合理的に推定することである。まず、自然条件により決まる土地の潜在生産性を合理的に評価し、次に、実生産量と比較することによって増産可能量を推定しようというものである。

最初の 2 年間に、中国北部・東北部の土地生産性を評価するために地理情報システム (GIS) を開発する。このシステムには、一連の 1-km デジタル地図とさまざまな制限因子下での潜在土地生産性を評価するサブモデル セットが含まれている。最終年度では、中国北部・東北部における各農産物の潜在生産性と農産物生産の増産可能量を測定する。即ち、農産物の最大収穫量を推定し、潜在生産性と実際の収穫量との差を把握することである。

3. 研究方法

(1) 土地の潜在生産性の評価

統計 - プロセス モデルと呼ばれる手法は、1980年代以降中国で研究されてきた⁵⁾。すなわち、農産物の潜在生産性は、農産物生産性と日射、気温、湿度、および土壌条件などのさまざまな環境要因との関連を研究して推定される。湿度と土壌条件は比較的調整しやすく、日射と気温は調整が難しい。これを考慮すると、農産物の潜在生産性は、順に光合生産性 (P_Q)、光温生産性 (P_T)、気候生産性 (P_w) および土地生産性 (P_L) によって定義される。ここでの P_Q は、日射制限を除きすべての環境要因が植物の生長に最適な状態であるという仮説の下で、高光合成植物によって生成されたバイオマス (乾燥物) を指す。 P_T では、主に日射と気温という 2 つの要素が制限されている。 P_w では、日射と気温に加えて、水分不足状態という制限がある。最後に P_L は、土壌特性と土

地の劣化条件に関連した土地の特質を表す有効土壌係数 $f(L)$ を用いて P_w を修正することによって推定できる。これらの概念は理論的に以下のように表すことができる。

$$\begin{aligned}
 P_L &= \sum Q_m \cdot f(Q) \cdot f(T) \cdot f(W) \cdot f(L) \\
 &= P_Q \cdot f(T) \cdot f(W) \cdot f(L) \\
 &= P_T \cdot f(W) \cdot f(L) \\
 &= P_W \cdot f(L)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

ここで、 Q_m は栽培期間における各月の日射量を指す。 $f(Q)$ は有効光合成係数を指す。 $f(T)$ は有効温度係数を指す。 $f(W)$ は有効湿度係数を指す。 $f(L)$ は有効土壌係数を指す。

第一に、 $f(Q)$ は Yu と Zhao⁶⁾ に基づき以下のように推定できる。

$$f(Q) = \Omega \cdot \varepsilon \cdot \varphi \cdot (1-\alpha) \cdot (1-\beta) \cdot (1-\gamma) \cdot (1-\rho) \cdot (1-\omega) \cdot (1+8\%) \cdot s \cdot H^{-1}
 \tag{2}$$

ここで、 Ω は植物による CO_2 固定能力を指す。 ε は、総日射量に対する可視日射量の比率を指す。 φ は日射量効率を指す。 α はアルベドを指す。 β は、総日射量のうち、植物の葉を通り抜けて地面に到達する日射量の比率を指す。 ρ は光合成器官以外の器官による吸収度を指す。 γ は光飽和度を指す。 ω は呼吸率を指し、 s は経済係数を指し、 H は 1g の乾燥物 (10 の 6 乗 J/kg) を生成するのに必要なエネルギーを指す。式(2)のすべての変数は Table-1 にまとめた農産物の場合に有効である。

第二に、 $f(T)$ は植物によっても異なり、式(3)で示すような気温と栽培期間の関数となる⁷⁾。

$$\begin{aligned}
 f(T) &= f_t(T) \cdot f_t(N) \\
 f_t(T) &= [(T-T_1) \cdot (T_2-T)^a] / [(T_0-T_1) \cdot (T_2-T_0)^a] \\
 a &= (T_2-T_0) \cdot (T_0-T_1) \\
 f_t(N) &= 1 + (N-N_0) / (1.7N_0)
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

ここで、 T は各栽培期間における気温を指す。 T_0 は最適な気温を指す。 T_1 は下限の気温を指す。 T_2 は上限の気温を指す (Table-2)。 N は有効生長期 (日) を指し、 N_0 は 5 月から 9 月の間の日数を指す。

Table-1 農産物の種類別のパラメータ⁶⁾

| パラメータ | トウモロコシ | イネ | サトウモロコシ | マメ | キビ |
|---------------|--------|------|---------|-------|-------|
| Ω | 1.00 | 0.90 | 1.00 | 0.60 | 1.00 |
| ε | 0.49 | 0.49 | 0.49 | 0.49 | 0.49 |
| φ | 0.224 | 0.24 | 0.224 | 0.224 | 0.224 |
| α | 0.08 | 0.06 | 0.09 | 0.08 | 0.08 |
| β | 0.06 | 0.08 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| ρ | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| γ | 0.01 | 0.05 | 0.03 | 0.05 | 0.05 |
| ω | 0.30 | 0.33 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |
| s | 0.40 | 0.45 | 0.35 | 0.35 | 0.35 |
| H | 17.2 | 16.9 | 17.8 | 23.1 | 20.0 |
| K_y | 1.00 | 1.10 | 1.00 | 0.85 | 0.85 |

Table-2 中国北部・東北部における農産物にとっての最適気温、下限気温、上限気温

| 月 | 栽培期間 | トウモロコシ、サトウモロコシ | | | イネ | | | マメ | | |
|---|------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | T ₀ | T ₁ | T ₂ | T ₀ | T ₁ | T ₂ | T ₀ | T ₁ | T ₂ |
| 5 | 播種期 | 20.0 | 8.0 | 27.0 | 21.0 | 9.0 | 28.0 | 18.5 | 7.5 | 26.0 |
| 6 | 生長期 | 24.5 | 11.5 | 30.0 | 25.0 | 12.5 | 32.0 | 23.5 | 10.0 | 30.0 |
| 7 | 生殖期 | 27.0 | 14.0 | 33.0 | 27.8 | 15.0 | 33.0 | 26.0 | 13.0 | 32.0 |
| 8 | 開花期 | 25.5 | 14.0 | 32.0 | 26.3 | 15.0 | 33.0 | 24.5 | 14.0 | 30.5 |
| 9 | 成熟期 | 19.0 | 10.0 | 30.0 | 19.3 | 10.5 | 30.0 | 18.0 | 10.0 | 30.0 |

第三に、 $f(W)$ は、実際の蒸発散量 (ET_a) と潜在蒸発散量 (ET_0) の比によって決定される。これは、農産物の水分不足状態を表し、水分不足指数 (WDI)⁸⁾ と定義される。 K_y は、Table-1で示されているとおり収穫指数である。

$$f(W) = K_y \cdot ET_a / ET_0 = K_y \cdot (1 - WDI) \quad (4)$$

有効土壌係数 $f(L)$ は土地の特質を表し、土壌構造、土壌の養分、および土地の劣化に関連している。これは、式(5)に基づいて簡単に推測できる。

$$f(L) = a_1 F_1 + a_2 F_2 + a_3 F_3 \quad (5)$$

ここで、 F_1 、 F_2 、 F_3 はそれぞれ第1級、2級、3級の耕作可能な土地の割合を指し、 a_1 、 a_2 、 a_3 はそれぞれ経験係数1.0、0.8、0.6を指す⁹⁾。

最後に、農産物生産の増産可能量は、上記の農産物潜在生産性を用いて算出式(6)から(9)のように推定できる。

- ① 温度条件の改善（すなわち温室）による増産可能量は、

$$\Delta P_T = P_Q - P_T \quad (6)$$

- ② 水分条件の改善（すなわち灌漑）による増産可能量は、

$$\Delta P_W = P_T - P_W \quad (7)$$

- ③ 土壌条件の改善（すなわち肥料利用、脱塩化、および有機物強化）による増産可能量は、

$$\Delta P_L = P_W - P_L \quad (8)$$

- ④ 農業技術の向上（すなわち新しい品種の培養と効果的な管理）による増産可能量は、

$$\Delta P_A = P_L - Y \quad (9)$$

ここで、 Y は実際の農産物収穫量を指す。

(2) GIS 構築

研究対象地域として、中国でもっとも大規模な農産物生産基地である中国北部・東北部を選択した。この地域には、遼寧、吉林、黒竜江、河北、山東、および山西の各省、内蒙古自治区、北京市、天津市が含まれる。この地域の主な農産物は、トウモロコシ、イネ、マメ、サトウモロコシ、キビ、および小麦である。この地域はモンスーン気候帯に属しており、場所によって自然条

件が大きく異なる。たとえば、気候条件と土壌肥沃度は平野部で良好だが、山間部と丘陵部で不適切である。しかしながら、この重要な地域における農産物の潜在生産性と農産物の増産可能性はまだ詳細に研究されていない。したがって、農産物の生産性と将来の増産可能性を推定することは重要なテーマである。この研究用のデータ要件に対して、まず1：1,000,000縮尺（すなわち約1kmメッシュ）の基本地図、社会経済地図、気象地図、土壌地図、および土地利用・被覆地図を含む一連のデジタル地図を作成した。すべての地図は以下の図法に合わせて調整した。

図法：アルバース円錐正積図法

単位：メートル

回転楕円面：クラソフスキー楕円

パラメータ：

第1基準緯線：25.00、N

第2基準緯線：47.00、N

中央子午線：110.00 E

図法原点の緯度：12.00 N

(3) 行政地域と基本データセット

この基本地図セットには地理的位置、行政境界、都市や町、地形、河川や湖、道路や鉄道についての情報が含まれており、CIESIN's Data Collectionに基づいて編集されている。Table-3にまとめたすべての地図は1：1,000,000縮尺のベクトルデータであり、個別に使用するか、または重ねて使用することができる。

Table-3 中国北部・東北部の行政地域と基本データベース

| データセット名 | データセットの特徴 | 特徴の形式 | データセットの内容 |
|-----------------|-----------|-------|--|
| Ne-province.shp | 省の境界 | ポリゴン | ポリゴンID、各ポリゴンの領域、各省のGBコード、省名 |
| Ne-county.shp | 郡の境界 | ポリゴン | ポリゴンID、各ポリゴンの領域、コード、郡名と地域名、郡、地域、島、および特別地域名 |
| Ne-pplace.shp | 居住地 | 点 | 都市部、村落、戦略地点、陸標 |
| Ne-uarea.shp | 市街地 | ポリゴン | 都市ポリゴンに関連する居住地 |
| Ne-road.shp | 交通機関 | 線 | 中央分離帯のある高速道路、普通道路や高速道路、小道、歩道 |
| Ne-rlroad.shp | 鉄道機関 | 線 | 単線鉄道線路、複線鉄道線路、軽便鉄道線路 |
| Ne-river.shp | 河川 | 線 | 河川、水路、内陸の海岸線、運河、水道橋、雪原、水河、不凍の限界線 |
| Ne-contour.shp | 標高 | 線 | 等高線の標高値 |

(4) 自然地理データベース

Table-4にまとめた自然地理地図には、1kmグリッド分割の気候要因、土壌特性、土地利用、および土地被覆が含まれる。

Table-4 中国北部・東部の自然地理データセット

| データセット | データセット名 | データセットの特徴 | データ源 | 特徴の形式 |
|---------|----------------|----------------------|--|---------------------------|
| 地形要因 | Ne-dtm | DTM | CIESIN's Data Collection | 線とグリッド |
| | Ne-slope | 傾斜 | | |
| 気候要因 | Ne-climate | 日射時間 | Chinese Meteorological Information Center | 点とグリッド、月平均値 (1960年-1995年) |
| | | 温度 | | |
| | | 降水量 | | |
| | | 風速 | | |
| | | 蒸散量 | | |
| | | >=10°Cの積算温度 地表面温度 | | |
| 土地利用・被覆 | Ne-lu84 | 土地利用、1984年 | Institute of Geography, CAS | グリッド |
| | Ne-lc92 | 土地被覆、1992年 | USGS | |
| | Ne-lu96 | 土地利用、1996年 | Institute of Remote Sensing Application, CAS | |
| | Ne-lc97 | 土地被覆、1997年 | | |
| 土壌特性 | Ne-soil | 種類 | FAO | ポリゴンとグリッド |
| | Ne-texture | 構造 | | |
| | Ne-WDI | 湿度 (WDI) | オリジナル | |
| | Ne-nutrition | 養分 | Nanjing Institute of Soil Science, CAS | |
| | Ne-degradation | 劣化 | | |

(5) 社会経済データベース

通常、社会経済要因の地図は、Table-5のように異なる行政レベルでのポリゴン地図となる。ポリゴン地図は、グリッド地図に変換可能で、他のデータセットと重ねて使用できる。この方法により、自然要因と社会経済要因の両方を1つのモデルに組み込むことができる。

Table-5 必要な社会経済データセット

| データセット | データセット名 | 特徴の形式 | データセットの内容 |
|--------|-------------|-----------|---|
| 人口変数 | Ne-popu.shp | ポリゴンとグリッド | 年末の人口、人口密度、年末の農村人口、年末の都市人口、年末の農業人口、農業人口の割合、年末の非農業人口、農村の労働力 |
| 農産物変数 | Ne-agri.shp | ポリゴンとグリッド | 陸地、耕地面積、灌漑面積、耕作面積における灌漑面積の割合、総陸地における耕地の割合、栽培面積、収穫高指標、穀物栽培面積、綿花栽培面積、含油作物栽培面積、穀物生産高、綿花生産高、農業における正味生産高、農村社会の総生産高、農業機械類の総電力、農村部での電力利用量、肥料の使用量 |

最後に、上記の基本データセット、自然地理データセット、および社会経済データセットに基づいて作成したデジタル地図の例をいくつか挙げる (Fig-1)。

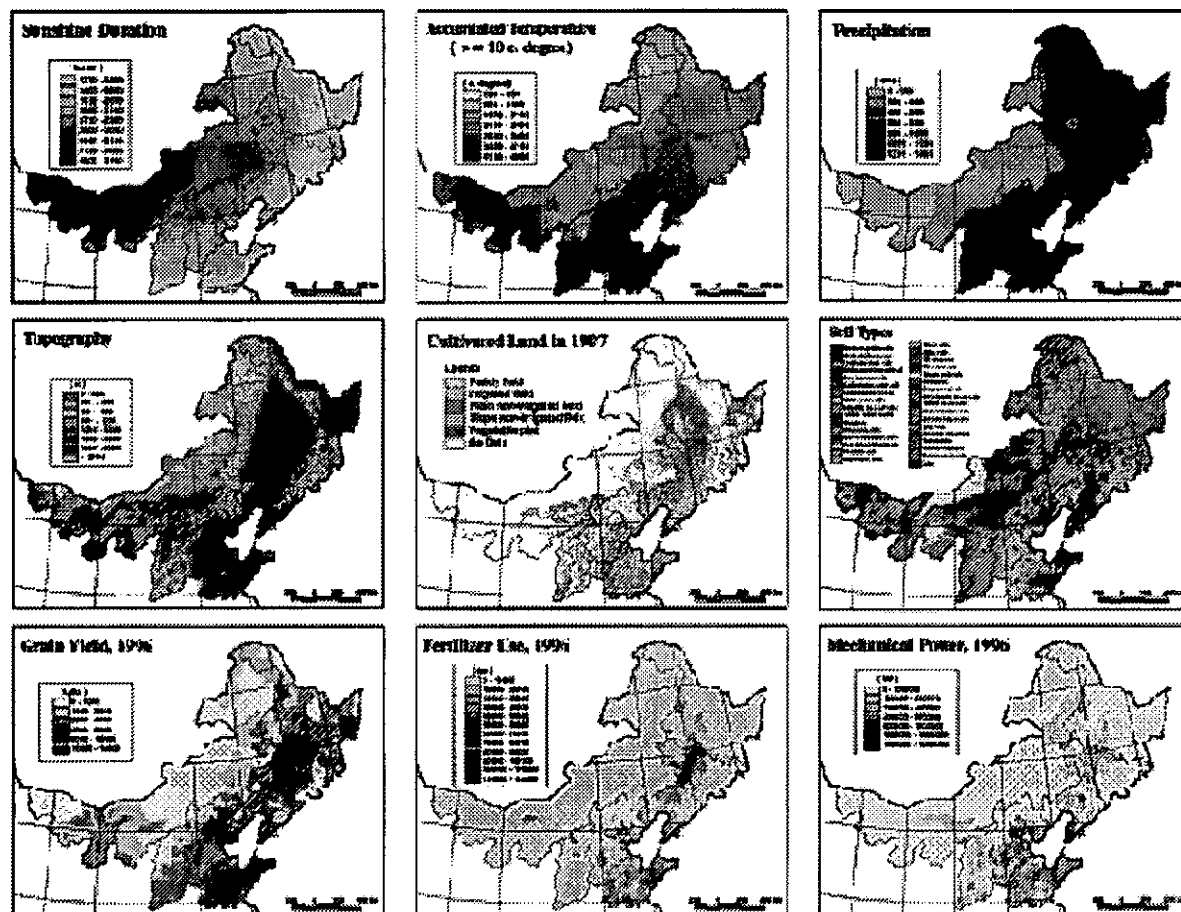


Fig-1 基本データセット、自然地理データセット、および社会経済データセットに基づいて作成したデジタル地図の例

4. 結果・考察

Table-6に、さまざまな制限因子下での主要農作物の潜在生産性、制限因子改善後の農産物生産の増産可能量などの作成した1kmグリッド地図をまとめた (Table-6)。これらすべての地図は、郡または省レベルの行政境界で重ね合わせて、各農産物の潜在生産性と増産可能量の統計データベースも、郡および省レベルで作成した。

(1) 潜在生産性

研究対象地域では、PQとPTの空間的な違いが小さい (Fig-2、Fig-3)。これは、この地域で温度条件と日射条件が均一であることを反映している可能性がある。逆に、PWとPLは場所によって大きく異なり、水分条件と湿度条件が不均一であることを反映していると考えられる。Fig-2とFig-3より、各農産物のPQは日射量と連動して東北部から南西部にかけて次第に増加することが分かる。また、各農産物のPTは地域ごとの温度差に連動し、南部から北部にかけて次第に減少することが分かる。PWとPLは南東部から北西部にかけて次第に減少するが、温度、水分、および土壌条件の複合的影響によって地域ごとに大きく異なる (Fig-4とFig-5)。農産物の中で、トウモロコシとイネはサトウモロコシやマメよりも潜在生産性が高いことが分かった。これは、後者の方が前者より栽培期間が短く、有機物への放射伝達効率が低いためである。

Table-6 主要農産物の推定潜在生産性と増産可能量の 1km グリッド地図

| データセット | データセット名 | データセット | データセット名 |
|-----------|-------------|--|---------------|
| 光合成生産性、PQ | Pq-corn | 温度条件の改善（すなわち温室）による増産可能量 $\Delta P_T = P_Q - P_T$ | DPt-corn |
| | Pq-rice | | DPt-rice |
| | Pq-gaoliang | | DPt-gaoliang |
| | Pq-wheat | | DPt-wheat |
| | Pq-bean | | DPt-bean |
| | Pq-grain | | DPt-grain |
| 光温生産性、PT | Pt-corn | 水分条件改善（すなわち灌漑）による増産可能量 $\Delta P_W = P_T - P_W$ | DPw-corn |
| | Pt-rice | | DPw-rice |
| | Pt-gaoliang | | DPw-gaoliang |
| | Pt-wheat | | DPw-wheat |
| | Pt-bean | | DPw-bean |
| | Pt-grain | | DPw-grain |
| 気候生産性、PW | Pw-corn | 土壌条件改善（すなわち肥料の使用、脱塩化、および有機物強化）による増産可能量 $\Delta P_L = P_W - P_L$ | DPl-corn |
| | Pw-rice | | DPl-rice |
| | Pw-gaoliang | | DPl-gaoliang |
| | Pw-wheat | | DPl-wheat |
| | Pw-bean | | DPl-bean |
| | Pw-grain | | DPl-grain |
| 土地生産性、PL | Pl-corn | 技術の向上（すなわち新しい種子の培養と効果的な管理）による増産可能量 $\Delta P_G = P_L - Y_{95}$ | DPa-corn* |
| | Pl-rice | | DPa-rice* |
| | Pl-gaoliang | | DPa-gaoliang* |
| | Pl-wheat | | DPa-wheat* |
| | Pl-bean | | DPa-bean* |
| | Pl-grain | | DPa-grain* |

*実際の農産物収穫量に関するデータが不十分なため、地図はまだ完成していない。

(2) 農産物生産の増産可能量

先述のとおり、我々のモデルを使用して、温度、水分、土壌条件および農業技術の改善などのさまざまな対応策による各農産物生産の増産可能量を推定することができる。これに関して作成した地図をFig.-6にまとめた。Fig.-6では、穀物生産高の増産可能量の地図だけを挙げている。ここでの穀物生産高とは、トウモロコシ、イネ、小麦、豆、およびサトウモロコシの生産高の平均値を指す。

温度条件を改善する方法には、たとえば温室の建築、地表カバーの使用、人工熱源の供給などがある。温度条件の改善による穀物生産の増産可能量 ΔP_T は、南東から北西にかけて次第に増加する。これは、温度分布に対応している。すなわち ΔP_T は低温の北部で高く、高温の南部では低い。 P_T を P_Q と比較すると、温度の制限によって南部の遼寧省、河北省、山東省などでは農産物の生産高が10%から30%減少し、北部の黒竜江州や内蒙古自治区などでは50%以上減少することが分かる。

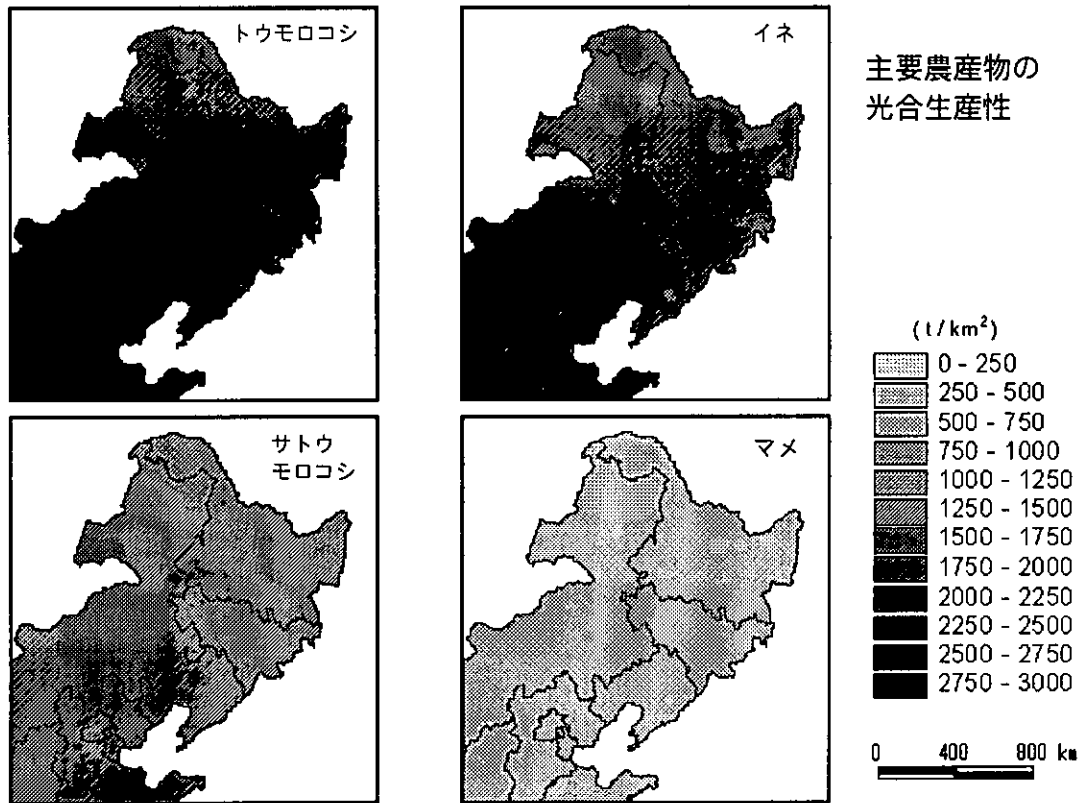


Fig.-2 主要農産物の推定光合成生産性のデジタル地図

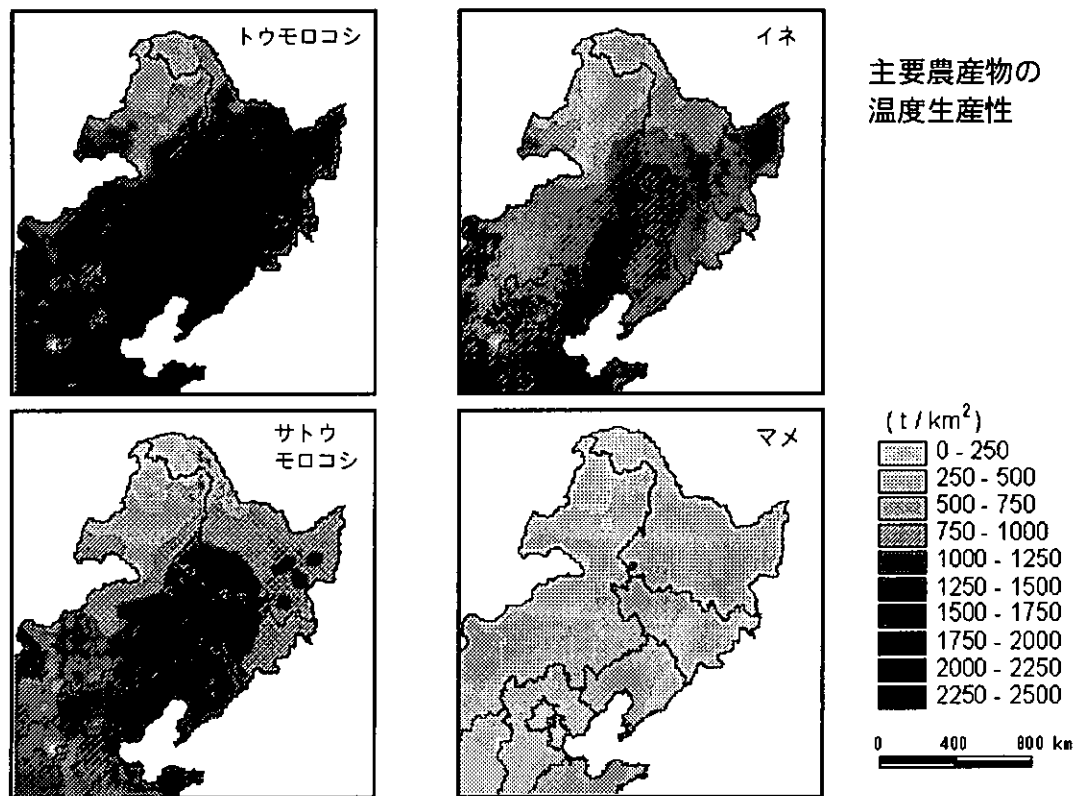


Fig.-3 主要農産物の推定温度生産性のデジタル地図

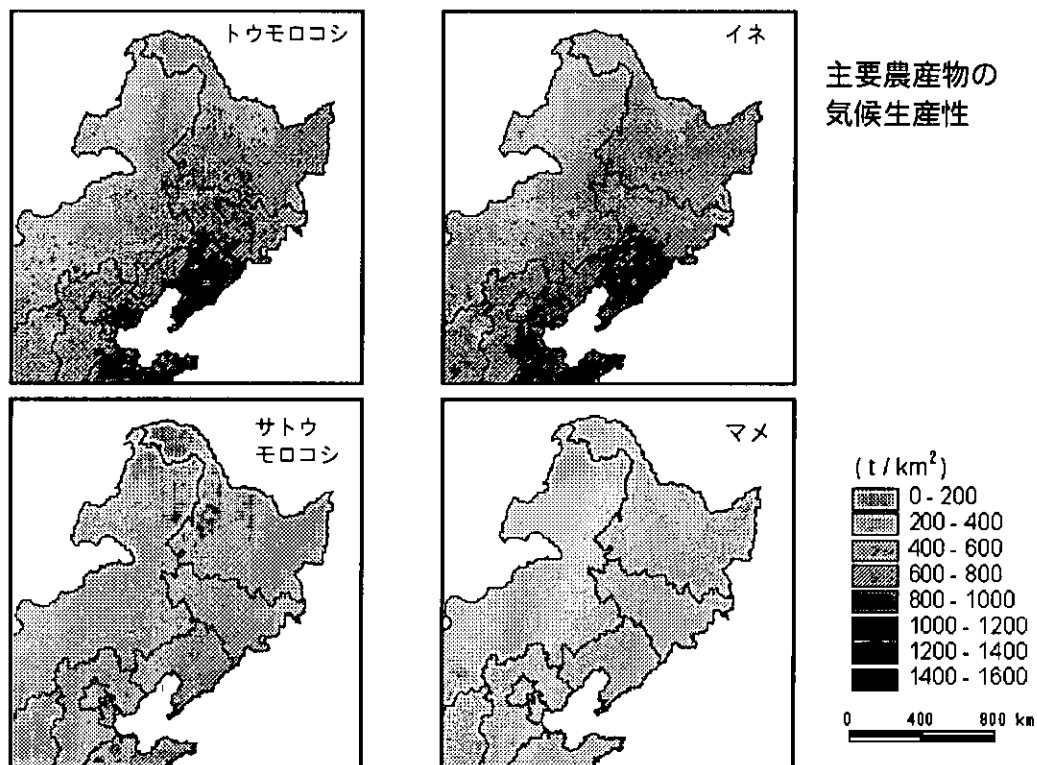


Fig.-4 主要農産物の推定気候生産性のデジタル地図

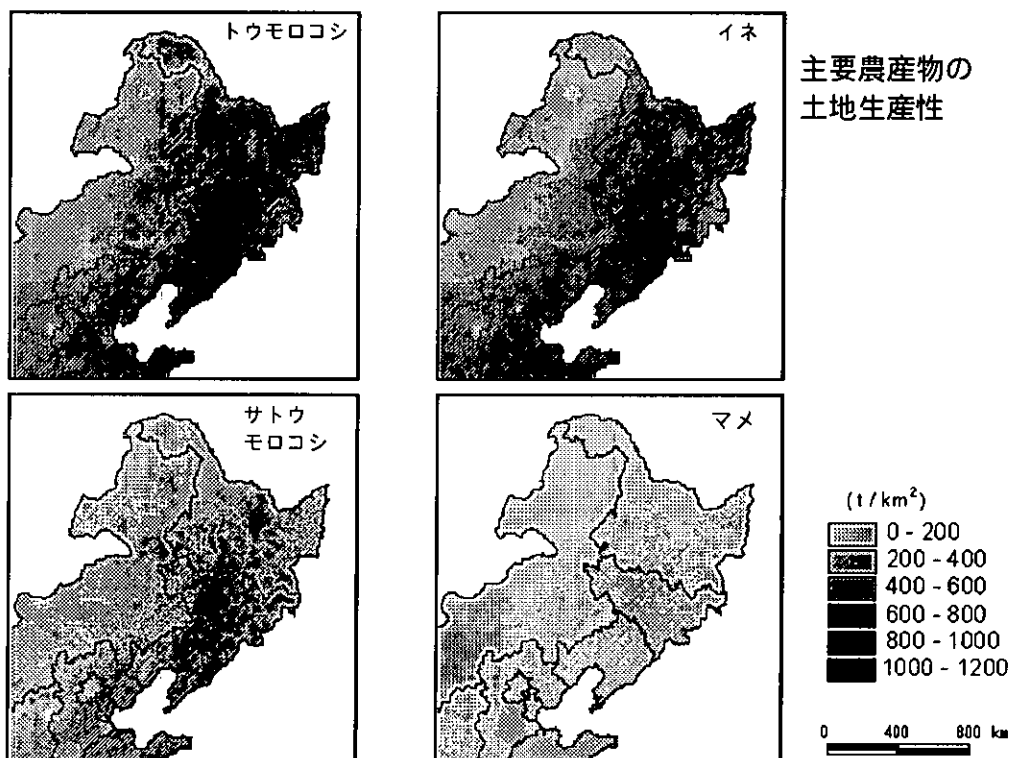


Fig.-5 主要農産物の推定土地生産性のデジタル地図

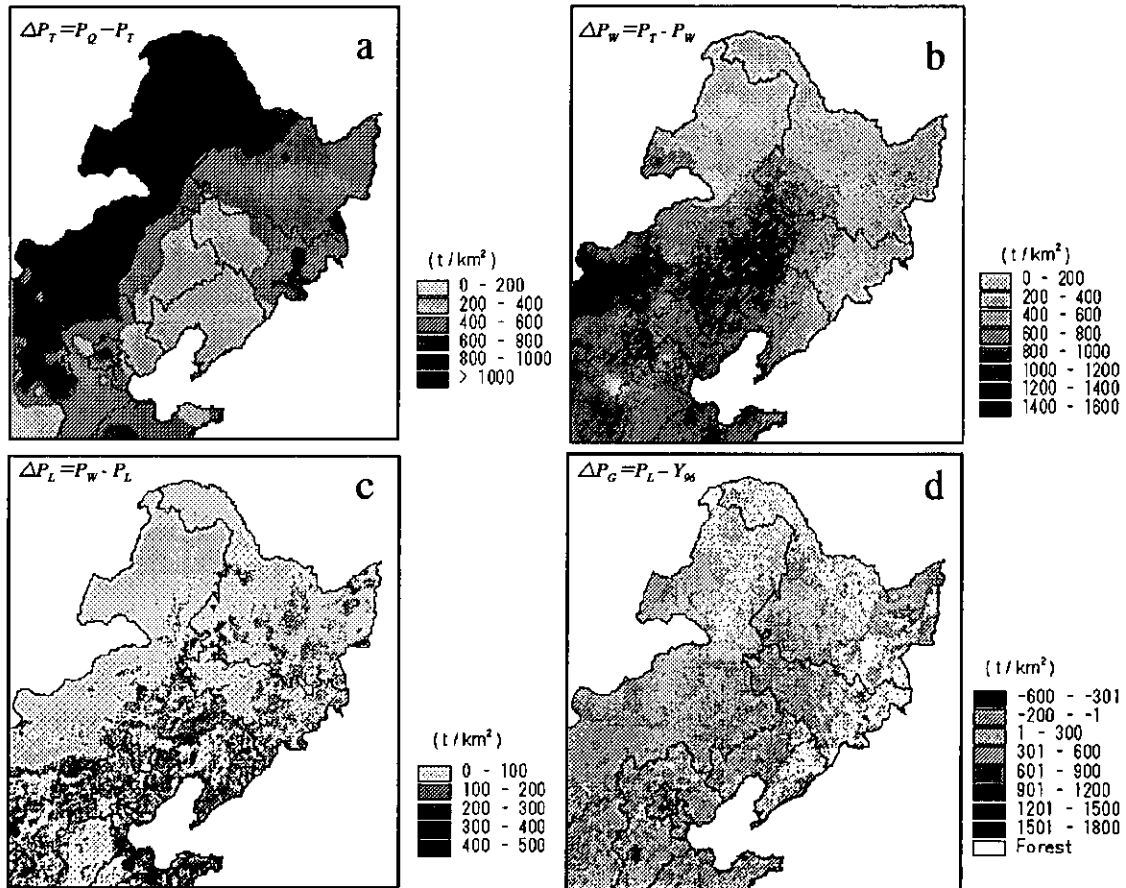


Fig.-6 さまざまな制限条件下での農産物生産高の増産可能性を示す地図の例

水分条件を改善する1つの効果的な方法は、降雨に頼る耕作から灌漑による耕作に変更することである。これによって、農産物の生産高は大きく増加する。 ΔP_W は水分条件の改善による穀物生産の増産可能性であるため、その分布は比較的地域的な違いが複雑であるが、 ΔP_W は降水量が400mm以下の西部の乾燥地域および半乾燥地域で非常に大きい。このような地域では、水分不足によってトウモロコシ、豆、サトウモロコシ、キビなどの農産物生産高が50%以上減少している。一方、中国東部の平野部では水分条件が比較的良好で、水分不足による農産物生産高の減少は20%以下であるため、 ΔP_W は小さい。

自然の土壌はあまり農産物生産に適していない。土壌条件を改善するには、土壌構造、土壌養分および土壌劣化などの条件を改善する。Fig.-6cの ΔP_L の地図から、土壌条件の改善による農産物生産の増産可能性は渤海海岸部および山間部で大きいことが分かる。前者における主要な土壌は、塩分含有量の多い海岸性の土壌 (colonchaks) である。後者では、土壌が侵食されやすい。逆に、 ΔP_L は、土壌条件が相対的に農耕に適している大平原地域で比較的小さい。

ΔP_G は、新しい品種の培養、肥料の合理的な利用、栽培技術の向上、および植物病の防止によって拡大可能である。Fig.-6dは、中国の郡レベルの統計データから導き出された1996年の乾燥地域における推定土地生産性と実際の穀物収穫高との差を示している。この結果から、この地域のほぼ全域で1996年の実際の収穫高は潜在生産高よりも少ないことが分かる。つまり、土地生産

性には改善の余地がある。規模は小さいものの、一部の地域では実際の収穫高が P_L よりも多い。その地域では、灌漑機構が整備されているか、管理が行き届いているか、または高度な技術が採用されていると考えられる。

最後に、中国北部・東北部における農産物生産高が少なくとも2、3倍に増加し、将来的には温度生産性 (P_T) に到達すると考えられる。1995年のGaoによると、中国北東部の平野部のいくつかの実験用地におけるトウモロコシおよびイネの実際の収穫量は $1500t/km^2$ に達し、温度生産性のレベルに到達したと言える。しかしながら、すべての地域についてこれを実現するにはまだ長い時間がかかる。1979年から1996年にかけての農産物収穫量の増加傾向から判断すると、すべての地域で温度生産性を実現するには50年から60年以上かかると思われる (Table-7)。

Table-7 トウモロコシの潜在生産性と、トウモロコシの実際の収穫量および予測値との比較
(単位: t/km^2)

| 省 | 回帰モデル* | R | 使用データ | 95年から97年の収穫高 | 2000 | 2025 | 2050 | PL | PW | PR | PQ |
|-----|----------------------|--------|-----------|--------------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|
| 黒竜江 | $Y=15.951t + 218.82$ | 0.8816 | 1979-1996 | 501.2 | 569.7 | 968.5 | 1367.3 | 516.8 | 590.0 | 1288.9 | 1964.6 |
| 遼寧 | $Y=14.761t + 329.49$ | 0.6654 | 1985-1996 | 527.7 | 654.2 | 1023.3 | 1392.3 | 663.9 | 733.7 | 1574.4 | 2072.8 |
| 吉林 | $Y=21.807t + 337.28$ | 0.8426 | 1979-1996 | 616.9 | 817.0 | 1362.2 | 1907.4 | 693.7 | 830.6 | 1854.7 | 2151.3 |
| 山東 | $Y=12.554t + 346.45$ | 0.9010 | 1979-1996 | 520.3 | 622.6 | 936.5 | 1250.3 | 513.5 | 617.5 | 1658.0 | 2272.4 |
| 河北 | $Y=12.119t + 270.19$ | 0.9429 | 1979-1996 | 465.2 | 536.8 | 839.8 | 1142.8 | 482.8 | 600.1 | 1829.5 | 2334.4 |
| 北京 | $Y=13.986t + 376.56$ | 0.9231 | 1979-1996 | 597.4 | 684.3 | 1033.9 | 1383.6 | 571.7 | 688.4 | 1851.2 | 2374.3 |
| 天津 | $Y=12.213t + 287.18$ | 0.8395 | 1979-1996 | 467.0 | 555.9 | 861.2 | 1166.5 | 677.8 | 818.2 | 1950.4 | 2375.7 |
| 山西 | $Y=11.184t + 327.30$ | 0.8500 | 1979-1996 | 499.2 | 573.3 | 852.9 | 1132.5 | 630.5 | 743.2 | 2002.8 | 2464.0 |
| 内蒙古 | $Y=24.906t + 171.92$ | 0.9544 | 1979-1996 | 575.2 | 719.9 | 1342.5 | 1965.2 | 731.7 | 886.9 | 2175.9 | 2764.1 |

*Yはトウモロコシの予測収穫高、tは1979年から計算した年数である。

農産物生産高は、温度、水分、土壌条件、および農業技術の改善によって増加するが、これらの行為によって多くの環境問題が生じる可能性がある。たとえば、(1) 温度条件の改善には大量のプラスチック素材が使用されるが、これは農地の直接的な汚染物質となるおそれがある。(2) 土壌条件の改善のために大量の化学物質や肥料を投与すれば、深刻な土壌汚染や水質汚染を引き起こすおそれがある。(3) 水分条件の改善のために水流を移動したり丘陵地で耕作すれば、土壌の浸食、塩化、砂漠化など、多くの環境問題を引き起こすおそれがある。これらの問題はすべて農業生産構造に跳ね返り、この地域の持続的発展を妨げることになる。

5. 本研究より得られた成果

農産物生産における潜在生産性と増産可能量を測定するために、まず1:1,000,000縮尺(すなわち約1kmの土地分割)の基本地図、社会経済地図、気象地図、土壌地図、および土地利用・被覆地図を含む一連のデジタル地図を作成した。その結果、さまざまな制限因子下での農産物の潜在生産性と制限因子の改善による各農作物の増産可能量を含む一連の地図ができあがった。この地図から、以下のことが分かる。

- ① ΔP_T の増産可能量は、南東から北西にかけて次第に増加する。これは、地域ごとの温度の違いに対応している。温度の制限によって、南部では各農産物の生産高が10%から30%減少し、北部では50%以上減少する。
- ② ΔP_w の増産可能量は西部の乾燥地域および半乾燥地域で非常に大きい。水分不足のせいで農産物生産高が50%以上減少している。
- ③ ΔP_L の増産可能量は、海岸部および山間部で大きく、大平原地域で小さい。
- ④ この地域のほぼ全域で1996年の実際の生産高は潜在生産高よりも少ない。つまり、この地域における土地生産性には改善の余地がある。
- ⑤ 1979年から1996年にかけての農産物収穫量の増加傾向から判断すると、中国北部および東北部の全域でPTを実現するには50年から60年以上かかると思われる。

6. 引用文献

- 1) Visser, W. C., 1950, The Quantitative Basis of the Evaluation of Soil Productivity. Tans. 4th Int. Congr. Soil Sci. (Amsterdam), 1: 373-377.
- 2) Odell, R. T., 1958, Soil Survey Interpretation – Yield Prediction. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 22: 157-160.
- 3) Sys, C., 1978. The Outlook for the Practical Application of Land Evaluation in Developed Countries. In: Land Evaluation Standards for Rainfed Agriculture. World Soil Resources Report 49. FAO, Rome,
- 4) Doorenbos, J. and Kassam, A.H., 1979, Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33. FAO, Rome.
- 5) Huang, B., 1985, Agricultural Potential Productivity – Photosynthetic Productivity. J. Geography, 17.
- 6) Yu, H and Zhao, F., 1982, Light and Thermal Resources and Photosynthetic Thermal Productivity. Acta Meteorologica Sinica, 8.
- 7) Gao, S., 1995, Research on Agro-climatic Productivity and Strategy of Utilization in Northern China. China Meteorological Press, Beijing.
- 8) Wang Q. and Takahashi, H., 1999, A Land Surface Water Deficit Model for an Arid and Semi -arid Regions: Impact of Desertification on the Water Deficit Status in the Loess Plateau, China. J. Climate. 12, 244-257.
- 9) Tang, H. and Ye, L., 1997, Comparative Study on Methodology of Land Production Potential, China Press of Agricultural Technology, Beijing.

[国際共同研究等の状況]

本研究は、IGBP/IHDPの共同コアプロジェクトであるLUCCのサイエンスプランに沿ったアジア地域の土地利用・被覆変化プロジェクトとして、LUCC Research Projectsに認定されたLU/GECプロジェクトの一環である。

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上発表(学術雑誌)

- ① 肖 平、王勤学：地理学論評、Vol. 72 (Ser. A), No.9, 589 - 599, (1999)
「中国における1949年以降の食糧生産の変化とその要因」。
- ② 王勤学、大坪国順：土木学会誌、Vol. 85, No.12, 64-67, (2000)
「中国における砂塵あらしの増加と土地利用変化」。
- ③ Qinxue WANG and Kuninori OTSUBO: *Journal of Geography Education*, 43,8,115-121, (2000)
'Changes in Area and Quality of Arable Land in China'.
- ④ Qinxue WANG and Kuninori OTSUBO: *Land Use and Cover Change*, edited by R.B. Singh et al., Science Publisher, Inc. Enfield, NH, USA. 239-246 (2001)
'Relationship between Agricultural Land Use Change and Socioeconomic Factors in North-East China in Recent Decades'.

(2) 口頭発表

- ① Qinxue WANG and Kuninori OTSUBO: Second IGBP Congress. 7-13 May 1999, Shonan Village, Japan.
'Digital Map Set Available for Diagnosis on Potential Land Productivity in North-East China'.
- ② Qinxue WANG and Yukio HIMIYAMA: 1999 Open Meeting of the Human Dimensions of Global Environmental Change Research Community. 24 -26 Jun. 1999, Shonan Village, Japan.
'GPS-GIS-RS Integration for the Study of Land Use/Cover Change'.
- ③ Qinxue WANG and Kuninori OTSUBO: IGU-LUCC'99 Open International Symposium on Land Use/Cover Change. 10-13 Jul. 1999, Honolulu, Hawaii, USA.
'Relationship between Agricultural Land-use Change and Socioeconomic Factors in North-East China in Recent Decades'.
- ④ Qinxue WANG and Kuninori OTSUBO: 29th International Geographical Congress. Aug. 14 -18, 2000, Seoul, Korea.
'Urban Expansion in China During last Two Decades'.
- ⑤ Qinxue WANG, Kuninori OTSUBO and Toshiaki ICHINOSE: Global Mapping Forum 2000, Nov. 30, 2000. Hiroshima, Japan.
'Digital Map Sets for Evaluation of Land Productivity'.
- ⑥ Qinxue WANG and Kuninori OTSUBO: Open Symposium on "Change and Sustainability of Pastoral Land Use Systems in East and Central Asia", June 28 - July 1, 2001, Ulaanbaatar, Mongolia
'A GIS-Based Study on Grassland Degradation and Increase of Dust Storm in China'.
- ⑦ Xiaoping XIN, Kuninori OTSUBO and Qinxue WANG: Open Symposium on "Change and

Sustainability of Pastoral Land Use Systems in East and Central Asia”, June 28 - July 1, 2001, Ulaanbaatar, Mongolia

'Modeling of climate change impact on grassland productivity in Northern China'.

- ⑧ 王勤学、大坪国順、一ノ瀬俊明：第9回地球環境シンポジウム講演論文集、土木学会（2001年7月）

「中国の潜在耕地及び耕地転用可能地の分布」.

- ⑨ Qinxue WANG, Kuninori OTSUBO, Akio BITO, Tomoki NAKAYA, Yoh SHIMIZU, and Toshiaki ICHINOSE: Global Change Open Science Conference (IGBP), Jul. 10-13, 2001, Amsterdam, The Netherlands

'Future Balance of Grain Production and Consumption in China by GIS Techniques'.

- ⑩ Qinxue WANG and Kuninori OTSUBO: Global Change Open Science Conference (IGBP), Jul. 10-13, 2001, Amsterdam, The Netherlands

'A GIS-Based Approach to Evaluate Possible Increase of Crop Production in Northern and Northeastern China'.

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

なし