

G-2 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

(5) 中央アジアにおける砂漠化プロセスの解明と砂漠化の評価に関する研究

独立行政法人国立環境研究所

環境研究基盤技術ラボラトリー

戸部和夫

国際室

清水英幸

京都大学

大学院アジア・アフリカ地域研究研究科

石田紀郎

大学院地球環境学堂

小崎 隆

大学院農学研究科

舟川晋也・矢内純太

(財)地球・人間環境フォーラム

中村 洋・地崎 剛

〈研究協力者〉東京大学大学院農学生命科学研究科

恒川篤史

北海道大学スラブ研究センター

山村理人

平成13～15年度合計予算額 33,246千円

(うち、平成15年度予算額 6,992千円)

上記の予算額には、間接経費 7,574千円(1,614千円)を含む

[要旨]

中央アジアの主要な砂漠化プロセス、すなわちステップ地帯の土壌有機物の減耗と砂漠灌漑農業地帯の土壌塩性化機構の解明および要因解析を目的として、カザフスタンにおいて自然環境調査・社会経済調査を行った。

北部ステップ地帯においては、カザフスタン・アクモラ州ショルタンディ畑作試験地で土壌への有機物投入量の現地測定、土壌特性値、気象および土壌呼吸モニタリングに基づく有機物損失量予測式の導出、ならびにそれを用いた年間損失量の算出を行った。有機物投入量と損失量の差引により2001～2003年度の土壌有機物収支を求めた結果、収支は有機物投入量を左右する土地利用(休閑を含むか否か)に強く規定されていた。その際土壌有機物分解量は、潜在的には台地頂部で大きく、ついで北側斜面、南側斜面の順となった。一方、南部灌漑地帯のクジルオルダ州シャガン農場、シャメーノフ農場試験地において、土壌塩性化の現況と地形、地下水、灌漑・排水システム、土壌特性値に関する調査を行った。その結果、比較的平坦な地形上に位置する灌漑農地で、排水不良による除塩機能の低下ならびに水田における塩害の深刻化がより顕著に観察された。輪作体系中における土壌塩類の移動メカニズムおよび塩性化規定要因の解析より、塩性化進行に対して低標高、細粒質といった条件の寄与が明らかとなった。

さらに、砂漠化の進行に多大の影響を与えてきた社会経済要因に関する調査から、近年、穀物商社によるインテグレーションが砂漠化防止のための集約的営農管理に貢献している傾向が、一部の農業企業で観察された。一方総体としてみれば、旧ソ連邦時代に比べると低投入型の耕作が継続しており、このことが北部畑作地帯における有機物投入レベルの低下、南部灌漑耕地における灌漑排水網の劣化を通して、砂漠化を加速する要因となり続けている。

このように北部・南部いずれにおいても、砂漠化進行リスクが程度の差こそあれ地形条件によ

って規定されているということ、旧ソ連邦崩壊後の農場経営の行き詰まりによって砂漠化進行リスクが高まっていることがわかった。このことは逆に、地形条件にうまく適応することによって、砂漠化リスクを回避あるいは軽減させる土地利用が可能であることを示唆している。すなわち適地適作である。高リスク地での土地利用の転換(農地から牧草地へ)あるいは低リスク地の集約利用などを通して、農業経営の経済性を高めながら砂漠化リスクを軽減させることが可能であると考えられる。

[キーワード] カザフスタン、土壤塩性化、土壤有機物、土地利用、農場経営

1. はじめに

中央アジア地域における砂漠化は、カザフスタンにみられるように、北部ステップ生態系下の畑作地帯では土壤有機物資源の減耗として、また南部砂漠生態系下の灌漑農業地帯では地下水位上昇に伴う土壤塩性化の加速として、捉えることができる。これら砂漠化進行の原因には、通常広く認識されているような水資源の多寡などといった自然環境的条件に加えて、旧ソ連邦体制解体後の急速な市場経済の浸透という、当該地域特有の歴史的・社会経済的条件によるものがある。現状における砂漠化プロセスを理解し、防止策を講じるにあたっては、双方の条件を個別に解析するとともに、その相互的な関わりを明確にする必要がある。

2. 研究目的

カザフスタン北部畑作地帯および南部灌漑水稻作地帯における砂漠化プロセスの同定と進行要因の解析を行うため、両地帯の代表地点において自然環境調査および社会経済調査を実施する。研究期間中(平成 13~15 年度)、①北部畑作地帯においては、大農場(村落)スケールでの詳細な地形調査に基づき有機物収支を実測し、その空間分布を明らかにする。また、サブテーマ 1 の広域 NPP 推定モデルの構築、検証、改良のための基礎情報を収集・提供する。②南部灌漑地帯においても同様のスケールで、特に灌漑農地の地形要因に着目し、土壤塩性化の現状とその規定要因を解明するとともに、サブテーマ 6 の生物生産力推定モデル(EPIC モデル)の塩性化地域への適用・有効性の検討のため塩集積量と自然環境情報を収集・提供する。③さらに、北部・南部地域における社会経済条件の近年の変化と農業経営状況の変遷を明らかにするとともに、これら条件の土地劣化に対する寄与を明らかにする。

3. 研究方法

(1) 北部畑作地帯における土壤有機物ダイナミックス

カザフスタン北部の阿克モラ地区ショルタンディ近郊(図 1)の緩傾斜畑作試験地(14×5 km、標高差 35 m)において、ディファレンシャル GPS(以下 DGPS)を用いて詳細な地形図を作成した上で、土壤水分量、土壤の有機炭素蓄積量などの分布地図を作製した(平成 13 年度)。この地図に基づき、代表地点 9 点において土壤水分量、土壤温度、気温、降水量をモニタリングするとともに、砂漠化の指標となり得る土壤有機物収支(投入量－損失量)を調べるため、投入量として植物体残渣の炭素量およびコムギ収量を、また、損失量として土壤呼吸速度を測定した(平成 14 年度)。土壤有機物収支については、平成 13~15 年度の 3 年間にわたり気象データおよび作物収量データ

を収集し、より長期的な収支について議論することを試みた。なお、ここでも有機物収支等の空間分布を明らかにするため、ジオスタティスティクスの手法を用いた。さらに衛星画像等を用いた広域の NPP 推定手法の開発および地上での実測データに基づく補正を行うため、シオルタンディ周辺の自然草地、採草地、耕地において NPP および環境条件の観測を行った(サブテーマ 1 参照)。

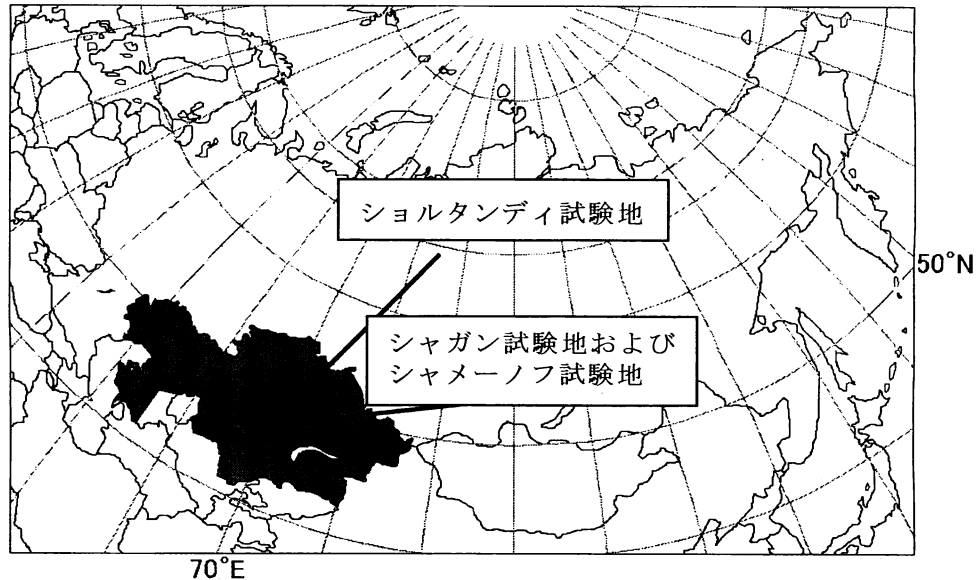


図1 カザフスタンにおける本研究の調査地域

(2) 南部灌漑水稲作地帯の土壌塩性化プロセス

はじめに中～長期的な砂漠化モニタリング地点を選定するため、クジルオルダ州の灌漑耕地の広域予備調査を行った(平成 13 年度)。その結果に基づき、クジルオルダ州シルダリア川中流域左岸に位置するシャガン水稲作試験地(約 8 km×10 km)およびシルダリア川右岸のシャメーノフ農場を集中調査地点として選定し(図 1)、DGPS により経緯度・標高を測定した。また、同一地点の表層土(0～10 cm)・下層土(50 cm、100 cm、地下水位付近)を採取し、砂漠化指標としての塩集積量を土液比 1:1 で得た土壤抽出液の電気伝導度(EC)から求めるとともに、塩集積に影響を与える下層土の粒径組成、特定地点の水溶性 Na、Ca、Mg 量について分析を行った(平成 14～15 年度)。さらに平成 15 年度耕作期間中の地下水位および水質の測定を行った。

(3) 砂漠化に及ぼす社会経済要因

体制転換後のカザフスタンにおける農業をめぐる社会経済条件の変化と構造変動が、同国における主要な穀物生産地域である北部のステップ地域と南部の灌漑農業地域で、農地の劣化・荒廃(北部では土壌有機物成分の長期的な減少など、南部では塩類集積など)という長期的な問題にどのような影響を与えるかを分析・検討するための社会経済調査を行った。まず農業生産動向を把握するための基礎統計資料を入手した上で、各農場レベルにおける近年の経営状況の変化を調査した。

4. 結果・考察

(1) 北部畑作地帯における土壌有機物ダイナミックス

本試験地では、中央部東西方向に台地が広がり、ここから北側・南側に向かい緩やかに斜面が下っている(図2)。土壌中に蓄積されている有機物量は試験地中央部の台地平坦面で高く、北斜面、南斜面の順に低下するが、この傾向は土壌水分量および土壌中の易分解性炭素量と一致しており、1%の有意水準で正の相関がみられた。これは、台地頂部において潜在的に放出される炭素ストックが最大であることを示している。土壌有機物収支を算出する上で、投入量となる植物体残渣炭素量は、図2のように中央平坦部及び北斜面では概ね高く、南斜面では低い傾向にあり、必ずしも上述の土壌水分や土壌有機物量などの土壌特性値と有意な相関はみられなかった。試験地での投入量は年間 0.9~2.5 t/ha と見積もられた。

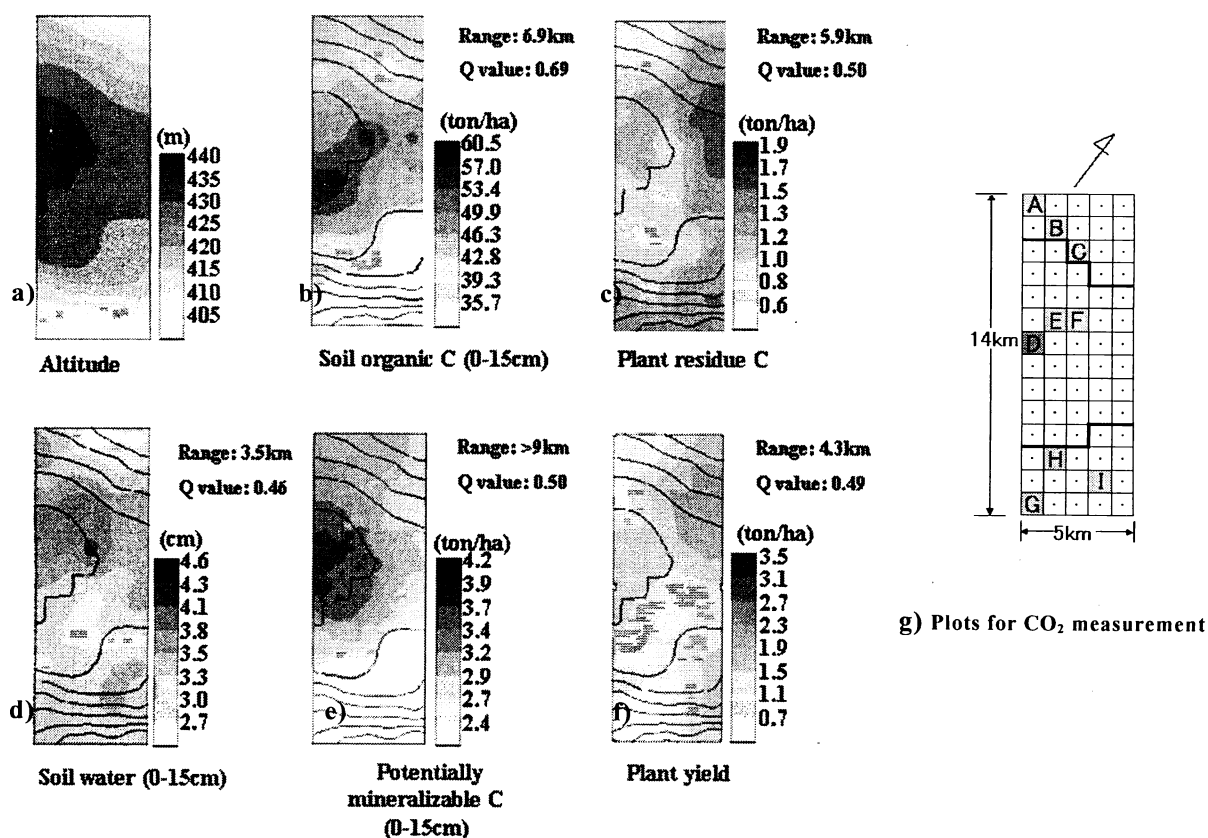


図2 ショルタンディ試験地における a) 標高、b) 表層土壌の有機炭素含量、c) 収穫残さ中の炭素量、d) 播種時の土壌水分含量、e) 可分解性炭素量、f) 作物収量中炭素量の分布図および g) 土壌呼吸測定プロットの位置(2001年測定)。

次に土壌有機物損失量となる土壌呼吸量を求めるために、図2 g)に示したような地形上の代表地点で、一日あたりの土壌呼吸速度を夏季耕作期間を通して測定した。図3に示すように、約15回実測した値から、夏に上昇し、秋に下降する傾向がみられた。同時にデータロガーによって記録された土壌温度、土壌水分量、降水量などを説明変数、土壌呼吸速度実測値を被説明変数とし

て、アレニウスモデルにより段階的重回帰分析を行った結果、 v (土壌呼吸速度)は以下のような式により予測できることが明らかとなった。

$$v = 47.718 \times P^{0.137} \times C_0^{0.34} \times \exp(-1089.655/RK) \quad (n=130, r^2=0.487)$$

なお、 $R=0.082$ 、 $K=Ts+273$ 、 Ts : 土壌温度($^{\circ}\text{C}$)、 P : 降水量(mm)、 C_0 : 易分解性炭素量(mg/kg)である。この予測式に、現地でモニタリングされた土壌温度(Ts)、過去 1 週間の降水量(P)、易分解性炭素量(C_0)を代入して年間の季節変動を回帰して算出した結果を図 4 に示す。土壌呼吸は 1 月から 4 月にはほとんどみられず、5 月から上昇し、7 月でピークに達した後下降し、10 月にはほぼ停止した。この関係を用いて試験地からの年間土壌有機物損失量を算出したところ、1.1~1.4 tC/ha/y と見積もられた。

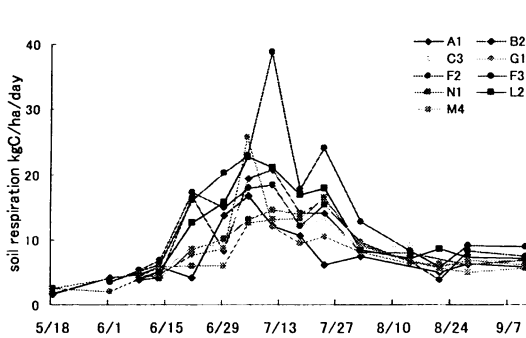


Figure 5-9. Dynamics of CO₂ emission

図 3 実測土壌呼吸速度(損失量)

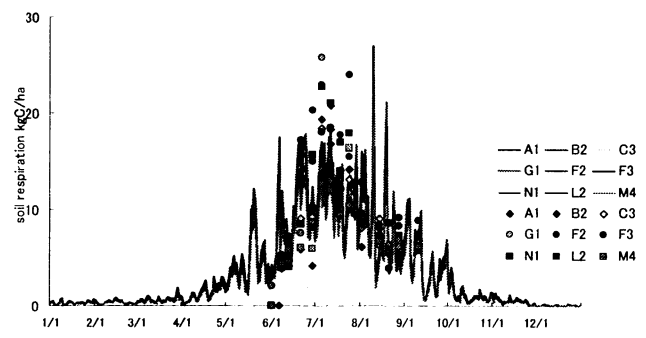


Figure 5-11. Estimation for daily CO₂ emission

図 4 土壌呼吸速度の実測値とシミュレーション値

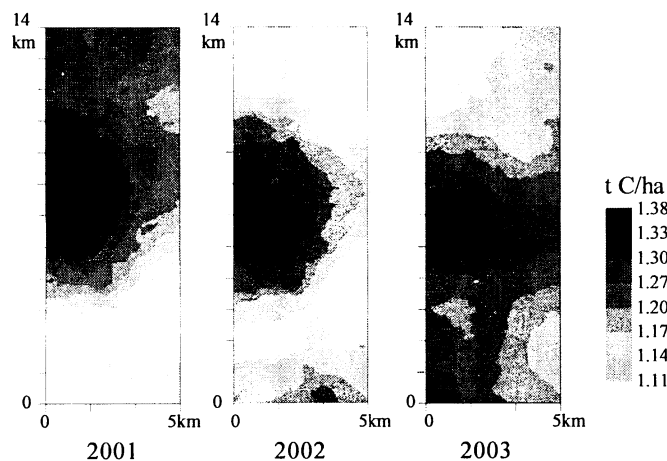


図 5 2001~2003 年における年間土壌有機物分解量

これらのデータセットおよびショルタンディ穀作研究所において計測された気象データを用いて、平成 13~15 年度の 3 年間にわたる土壌有機物分解量を算出し、図 5 に示した。このように毎年の土壌有機物分解量はそれほど大きくは変動せず、土壌の可分解性有機炭素量の違いを反映して台地頂部で最も大きな値を示した。

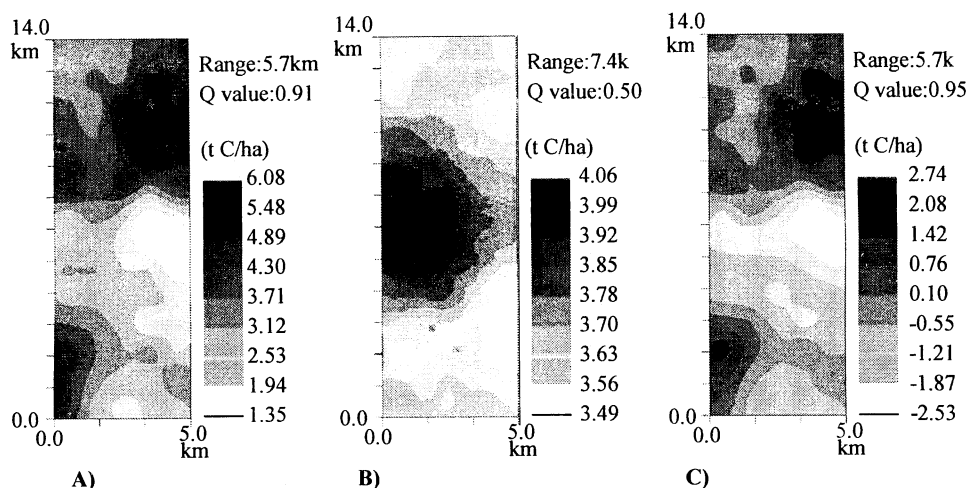


図6 3年間(2001~2003年)のA)作物残渣投入量、B)土壌有機物分解量、およびC)土壌有機物収支

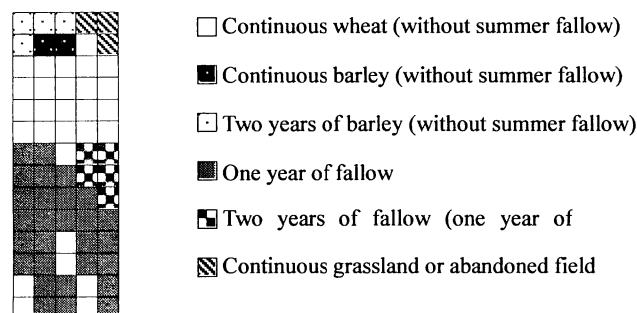


図7 3年間の土地利用歴

次に3年間にわたり収集された作物残渣データと併せて、3年間累計の作物残渣投入量、土壌有機物分解量、土壌有機物収支を計算した。結果を図6に示す。

これらの図より、土壌有機物収支は作物残渣投入量に強く規定されていることがわかる。図7に調査期間の作付歴を示したが、残渣投入量の小さい部分では、この間夏季休閑の行われていたことがわかる。当地域の夏季休閑では事実上残渣投入量がゼロとなるので、有機物収支が大きなマイナスとなる。いずれにしても一輪作周期を通して土壌有機物収支計算が必要となるが、現段階では以下のことがいえるであろう。

- ①土壌有機物分解量は潜在的に台地頂部で大きく、ついで北側斜面、南側斜面の順となる。
- ②一般に作物収量は、春先の土壌水分保持量を反映して台地頂部から北側斜面上部で最大となる。

このように潜在的な砂漠化危険地と農耕好適地が異なることから、砂漠化のリスクを避けながらより効率のよい農耕を行うことが可能であろう。一例としては、砂漠化リスクが中程度ながら農耕に適した北側斜面をより集約的に管理すること(作物残渣も増えるであろう)、低い作物収量しか見込めない南側斜面を牧草地に転用して、いわば炭酸ガスのシンクとして管理すること、などが挙げられる。

次に、衛星画像等を用いた広域のNPP推定手法の開発および地上での実測データに基づく補正

を行うため、ショルタンディ周辺の自然草地、採草地、耕地において NPP および環境条件の観測を行うとともに、各地の気象局または研究所で気温、降水量等の気象データを収集した。各植生に 1 m×1 m の方形区を 4 つ設置した上で、各方形区内で光センサを用い NDVI と fAPAR を観測するとともに、植生の記載後地上部および地下部を採集し、乾燥重量を測定した(表 1)。本測定は、5 月初めから 10 月中旬にかけて、約 2 週間間隔で行った。

なおここで得られた NPP、植物残渣投入量、小麦収量ならびに土壌温度、水分、土壌呼吸量のモニタリングデータをサブテーマ 1 へ供給し、広域砂漠化モニタリング手法の構築に資した。

表 1 カザフスタン・ショルタンディにおける年間バイオマス生産量

調査地	緯度	経度	植生(優占種)	年間生産力(g/m ² /year)		
				地上部	地下部	合計
ショルタンディ	51°35'	71°16'	自然草地 (<i>Stipa capillata</i>)	117.2		
	51°35'	71°19'	採草地 (<i>Agropyron pectoniforme</i>)	299.3	454.4	753.7
	51°34'	71°15'	小麦畑	402.6	68.0	470.6

(2) 南部灌漑水稲作地帯の土壌塩性化プロセス

はじめに、中～長期的な砂漠化モニタリング地点を選定するため、クジルオルダ州の灌漑耕地の広域調査を行った。

クジルオルダ市周辺のシルダリア左岸域には広大な農場がいくつも広がる。土壌塩性化の深刻さは、一見しただけではそれほど感じられない。シルダリアに対しやや高い所に位置していること、クワンダリアなど排水系となる流路を擁していることなどが理由と思われた。

クジルオルダ市周辺のシルダリア右岸域では、特に農場からシルダリア本流にかけて、また農場下手で土壌塩性化の進行が激しい。地形図上でも、シルダリアと沼沢地に囲まれたような立地にあり、土壌塩性化がもっとも深刻な地域であろうと思われる。

現在のデルタ環境に近いカザリンスクには比較的砂質な土壌が分布しており、土壌中への塩類蓄積は比較的少ないようである。ここではむしろ、主要都市であるクジルオルダ市に遠いという地理的条件が、この後社会経済条件の項で検討する水稲耕作のインテグレーションの阻害要因となる可能性がある。

クジルオルダ市の年平均気温は 10℃、年間降水量は 155 mm であり、高温で乾燥した夏と低温で雪の多い冬を持つ大陸性気候を示す。シルダリア川を水源とし、灌漑水の塩濃度は約 1200 ppm で、「灌漑にやや適する」と判断される。年間約 2000 mm が水稲にのみ、ポンプを用いない重力灌漑により実施され、開渠に自然排水される。用排水路の大半は素掘り水路であるため、水稲作付期間中には常に多量の漏水がみられる。原則的な作付け体系は水稲を 4 年、経年作物であるアルファルファを中心とする畑作物を 4 年連作する灌漑水田 8 年輪作であるが、シャガン農場がこの体系を比較的よく維持しているのに対し、シャメーノフ農場では近年特に比較的良好な農地における水稲中心の作付けを行っている。調査対象とした 2 農場のうち、シャガン農場は主としてシルダリア左岸傾斜地上に位置するのに対し、シャメーノフ農場はシルダリア川屈曲部内側に位置し、より灌漑排水が困難であろうと予測される。地形測量を行った結果を図 8 に示す。

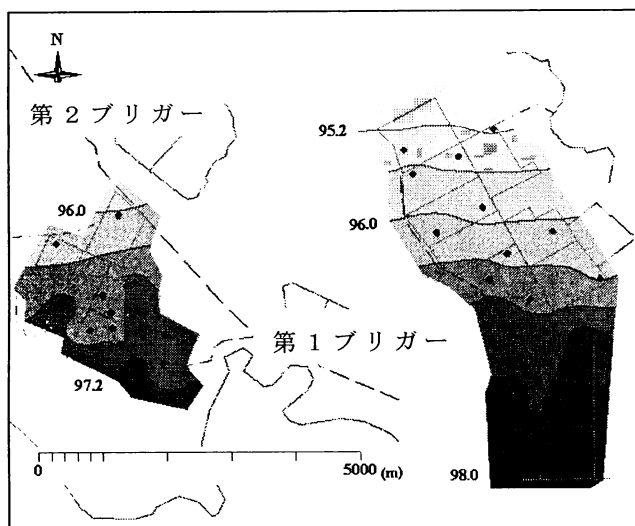
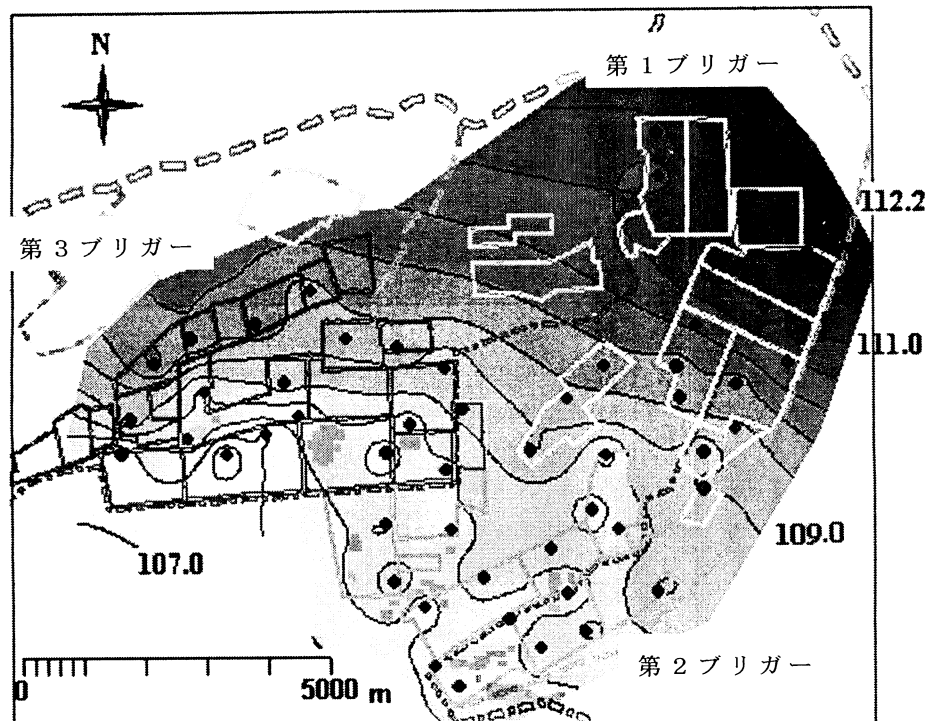


図8 カザフスタン南部
灌漑水稻作地帯
における試験地
シャガン農場(上)
およびシャメーノ
フ農場(左)の地形

これら現地調査で得られた標高測量データを用いて、横軸に主灌漑排水路からの距離を、また縦軸に水路底の相対標高とおおよその位置に対応する調査地点の標高を、併せてプロットしたものが図9である。本調査で対象としたのはシャガン農場第1～3ブリガードおよびシャメーノフ農場の第1～2ブリガードであるが、地形的な特徴から言えば、シャガン農場第1・第3ブリガードおよびシャメーノフ第1ブリガードが平均斜度 0.05%を超え、灌漑農地としては急傾斜なのに対し、シャガン農場第2ブリガード、シャメーノフ農場第2ブリガードはより傾斜が小さい。また、特にシャメーノフ農場第2ブリガードはシルダリア屈曲部右岸内側に位置し、しかも圃場標高がシルダリア川よりも低いことが明らかとなった。このことが第2ブリガード土壌の高い塩性度の直接的な原因と考えられる。灌漑農地からの排水を検討する際、このような地形条件の相

違は重要なポイントになると思われる。なおシャメーノフ農場は、近年ほぼ水稲作に特化した土地利用を行っており、伝統的な水稲／アルファルファ8年輪作を行っているシャガン農場とは異なる。したがって今後の解析も水稲作に限られる。図8中に点で示した各地点において土壌試料を採取し、集積塩分布を解析するための化学分析に供した。

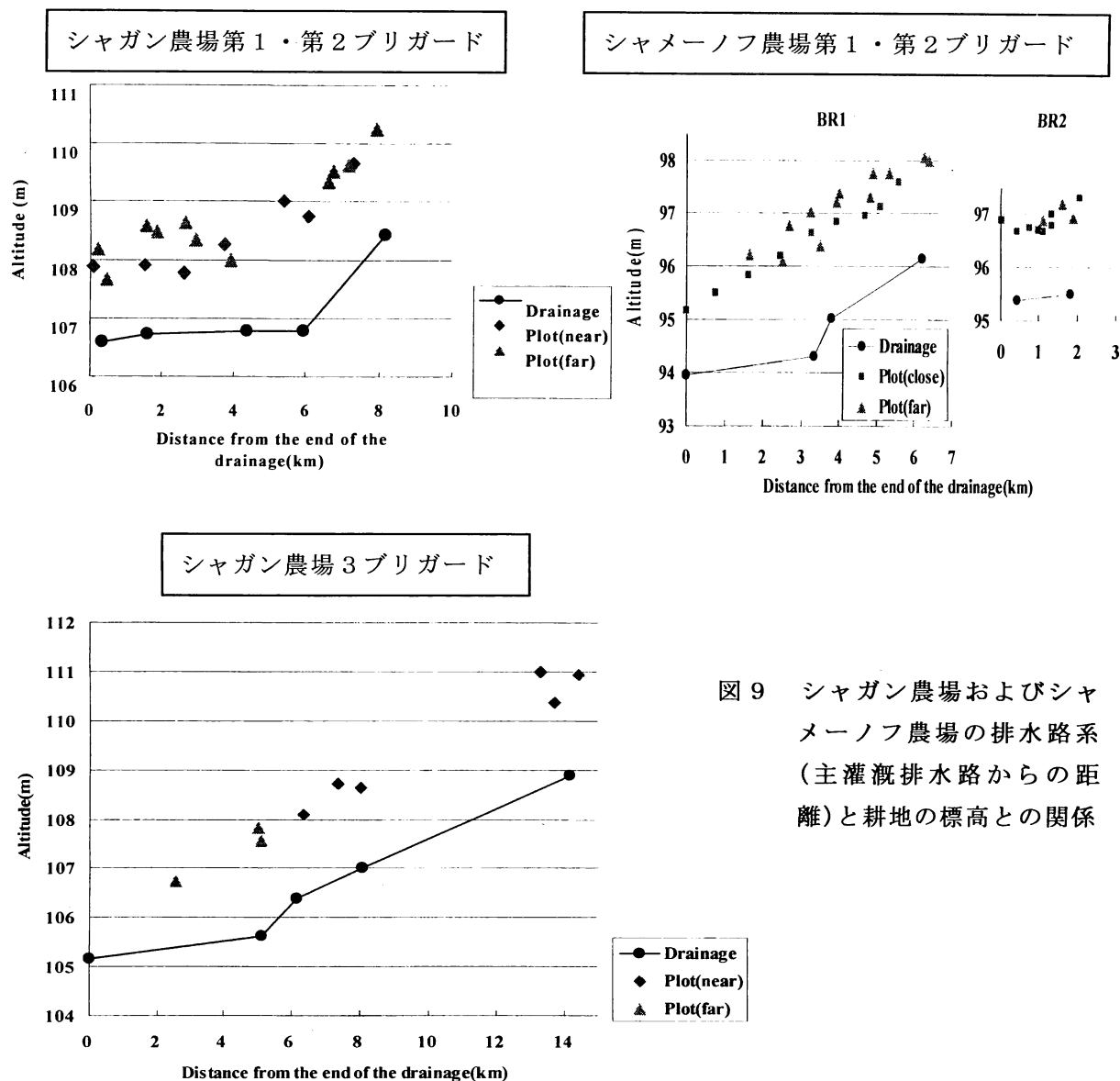


図9 シャガン農場およびシャメーノフ農場の排水路系（主灌漑排水路からの距離）と耕地の標高との関係

まず水稲耕作期であるが、傾斜ブリガード(シャガン農場第1および第3ブリガード、シャメーノフ農場第1ブリガード)では、土壌中の水溶性塩含量の指標となる電気伝導度(EC)がおおむね5 mS/cm以下となり、この地域の圃場としては低く抑えられている(図10)。このことは、これらの圃場で水稲作付期間中の除塩が期待通り働いていることを示している。一方、同じ水稲作付期でも、平坦ブリガード(シャガン農場第2ブリガード、シャメーノフ農場第2ブリガード)ではしばしばEC値が10 mS/cmを超えるレベルにまで上昇し、これは粘土含量の大きな細粒質土壌に

においてより顕著である。すなわち平坦なブリガード、あるいは部分的な窪地では、排水不良のため水稲耕作によってさえ除塩がうまく機能しない場合があることを見て取れる。水稲耕作地における排水不良に伴う土壌塩性化は、1990年代半ばに同じくクジルオルダ市近郊シルダリア川右岸の農場において観察された事例¹⁾とも共通している。

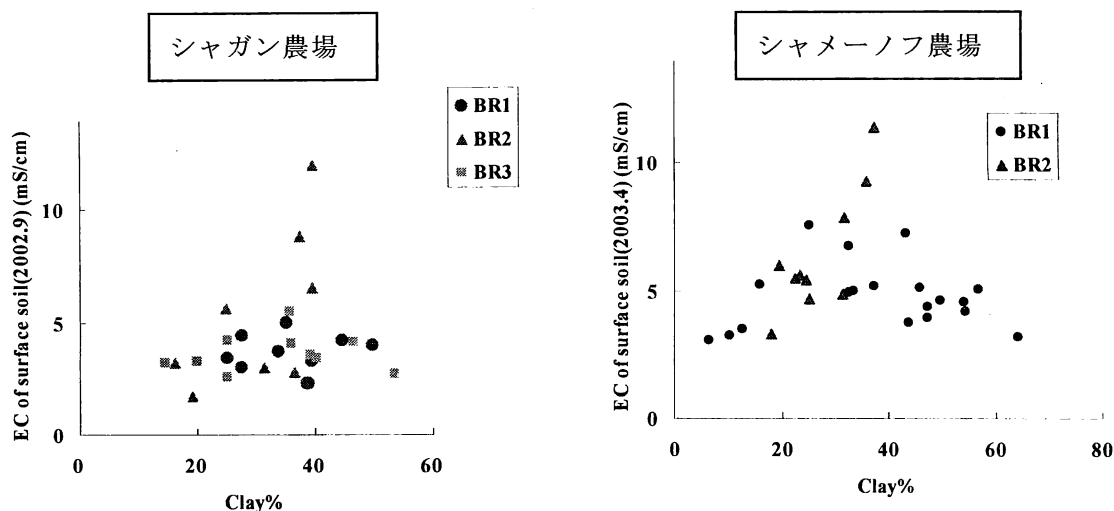


図 10 水田土壌の粘土含量と電気伝導度

一方畑作期間であるが、図 11 で見られるように、畑作 2 年目以降に地下水位の浅い地点で塩性化が進行している。畑作圃場の地下水位を規定している要因としてはまず相対標高が挙げられるが、これ以外にも土性、主灌漑(排水)路への距離など、いくつかの要因がありそうである。いずれにしても、畑作期間中急速に塩性化が進む圃場と、比較的塩害を蒙らない圃場が存在する。

ここで得られた知見より、当地の灌漑農業に対して以下のような提言ができるであろう。
①平坦地あるいは窪地という立地では、これが細粒質な土壌と重なった場合、排水不良による土壌塩性化が水田においてさえ見られる。

このような立地で水稲作を継続することは困難であると思われる。

②一方、ある程度の傾斜(>0.05%程度)を持つ灌漑農地では、灌漑期の地下水位が低く抑えうる場合、連続畑作を行っても塩害の深刻化しない立地が存在する。これらの立地では、水資源使用を削減するため輪作体系中で畑作物の比重を上げることが可能であると考えられる。

なお、ここで得られた土壌表層塩類集積量、地下水位、地形、土壌特性値に関するデータをサブテーマ 6 へ供給し、塩性地域における生物生産力推定モデル(EPIC モデル)の検討に資した。

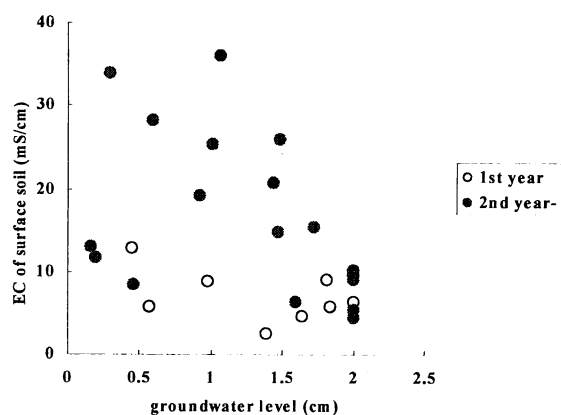


図 11 畑作土壌の地下水位と表層土の電気伝導度

(3) 砂漠化に及ぼす社会経済要因

ソ連の解体と体制転換に伴う社会経済的な混乱は、カザフスタン北部ステップの畑作地域、南部灌漑水稻作地帯のいずれにおいても土地利用のありかたに劇的な変化を与えた。農業の交易条件の悪化、畜産部門の崩壊、農産物加工企業の非効率と未払い問題の深刻化、農業用短期資金調達システムの欠如など、種々の要因により農業企業の経営悪化が急速に進み、1980年代までに確立した集約的農法の維持が困難になり、穀物生産の「粗放化」と農地の劣化・荒廃が進展していった。これは、数十年前の地力収奪的な農法への回帰という側面が強いもので、持続可能な農業への転換という要請に逆行するものであった。

こうした地力収奪的な「粗放化」と農地の劣化・荒廃は、1990～1998年の期間に急速に進んだが、1999年以降、その進行に一定の歯止めがかかるようになり、ソビエト時代に確立された当該地域における農法が部分的に復活するという現象が起きている。この現象を規定したのは、市場ファクターの変化(穀物収益性の好転)と制度・組織面のファクターの2つである。穀物収益性の好転は、特に輸出商品である小麦について顕著であり、北部小麦地帯での農業経営状態を改善した(図12)。また、穀物の収益性が高まったことは、新たな市場経済の条件のもとでの制度変化を促した。この点で特に重要なのは穀物商社等による垂直インテグレーションの展開である。インテグレーションは北部小麦地帯では1990年代末から本格化し、調査対象となったアクモラ州では穀物作付面積の3分の1、北カザフスタン州では5割近くが、穀物インテグレーターの支配下に置かれている(図13)。旧ソホーズの継承法人である大規模農場の多くがインテグレーターの子会社となり、農業用資産の所有権と土地利用権はインテグレーターの手に移転した。同様の現象は、南部稲作地帯のシルダリア州、ジャラガシュ州でも2001年頃から部分的に始まっている。

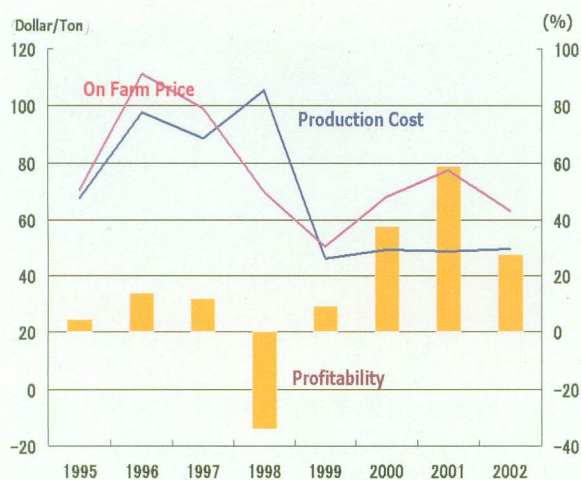


図12 小麦の価格、コスト、収益性

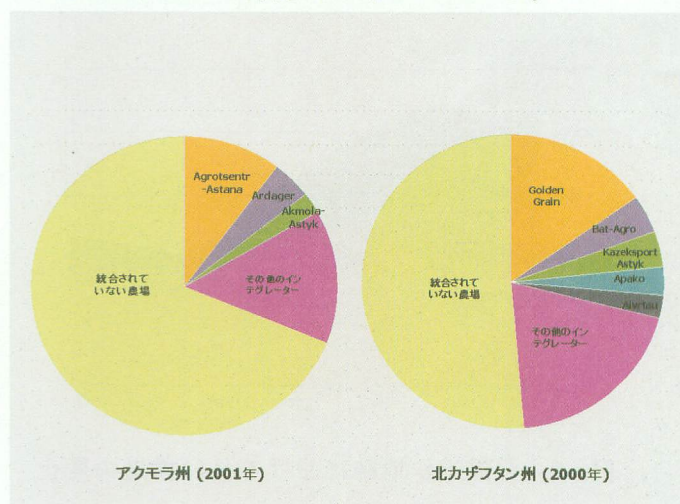


図13 穀物作付けにおけるインテグレーターのシェア

インテグレーションは、穀物生産の「粗放化」と農地の劣化・荒廃のプロセスに一定の歯止めをかける役割を果たしている。すなわち、それは、農業企業に資材・燃料・機械といった必要な投入財を供給する「代替的メカニズム」(農業金融などのサポート制度の未整備をカバーする)として機能しており、そのことにより、適正な輪作や農法が復活し始め、資源保全、環境の見地から一連の肯定的な状況が生れつつある。このことは、北部のアクモラ州及び北カザフスタン州と

南部のシルダリア州、ジャラガシュ州において実施した農場レベルの調査でも確認された。

しかしながら、以上のような近年における肯定的な変化にも関わらず、1990年代に劇的に進んだソビエト的集約農法の崩壊と土地利用の劣化・農地の荒廃という状況は、ごく部分的にしか改善されていない。農業機械の老朽化・不足は深刻で、農地保全のための必要な作業を可能とする機械が確保されていない。化学肥料の使用(図14)は低迷しつつあり、適切に管理されない夏期休閑のみに頼った地力収奪的農法が継続している。土地利用の面では、多くの農地が放棄されたままであり、小麦や水稲という特定作物に偏った作付け構造が固定化しつつある(図15、16)。

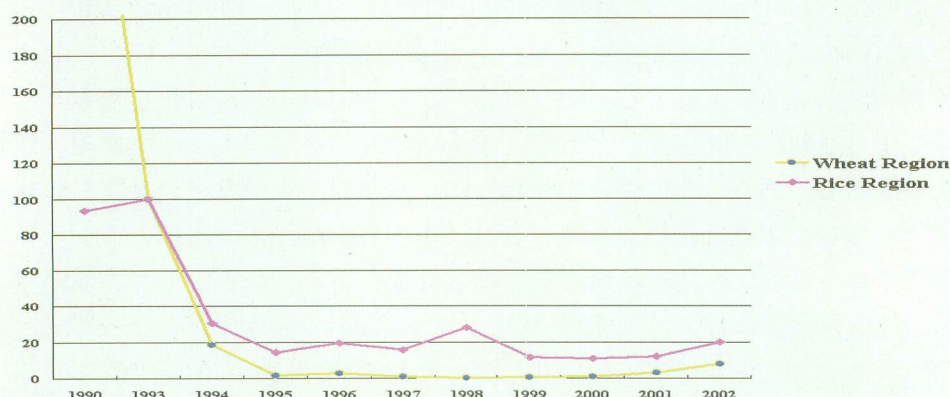


図14 化学肥料の使用量(1993=100)

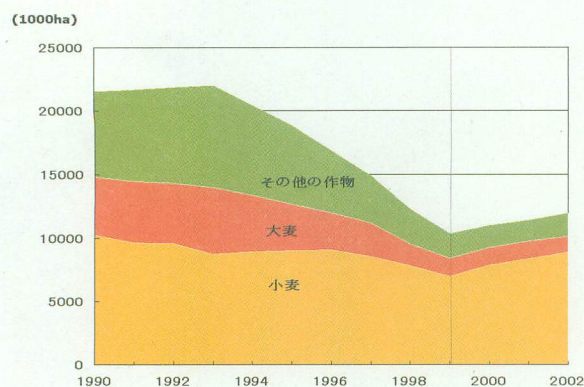


図15 北部畑作地帯における作付構造の変化

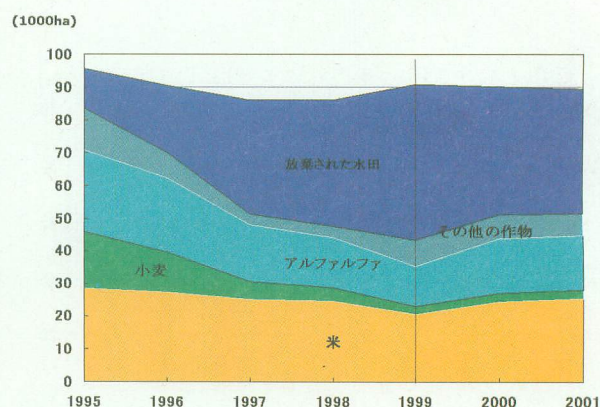


図16 南部水稲地帯における作付構造の変化
(シルダリア河左岸・右岸地区)

社会経済的な諸条件は、北部ステップ畑作地域、南部灌漑水稲作地帯における土地利用およびそれに伴う環境面での変化を今後も大きく規定していくことになると思われる。制度・組織的なファクターとしては、①垂直的インテグレーション、②個人農業セクターの発展、③政府によるサポートと規制の3つの点が重要であり、市場的ファクターとしては、①ロシア等のCIS諸国における穀物市場の変化、②カザフスタン穀物の市場競争力、③為替レート問題(石油輸出増大に伴う「オランダ病」の発生)などが大きな影響を与えると考えられる。

このうち、垂直的インテグレーションについては、持続可能な農業生産と土地利用にふさわしい形態と見るのは早計である。北部畑作地帯における垂直的インテグレーションの大規模な展開は、旧ソホーズの経営破綻による買収コストの低さ、極めて安い土地利用コストという特殊な条件によって可能になったものであるが、今後、カザフスタンの小麦の競争力が失われ、収益性が低くなれば、崩壊する運命にある。実際、最近になって、北カザフスタン州では再大手の穀物インテグレーターであったゴールデン・グレイン社などが経営危機に陥り、穀物ビジネスから撤退するという事態が起きている。水稻については、シルダリア州、ジャラガシュ州の比較的條件にめぐまれた一部の地域のみでインテグレーションが展開しており、農地の荒廃が最も進んでいるカザリンスク州では水稻の収益性が低いためにインテグレーションは全く進んでいない。

市場的ファクターを考慮すると、ソビエト時代に確立された集約的農法の完全な復活はありえない。我々の農場調査によると、集約的農法を復活するためには、小麦の場合、生産者価格がトン当たり 120 ドル近くまで上がらなければならないという結果が出ている。価格条件的には今後もソビエト的集約農法をそのまま復活させることは困難であり、低投入型でかつ地力収奪型ではない農法を確立していく必要があることが示唆された。

また、むきだしの市場原理だけが働く条件下で、環境負荷の小さな土地利用形態を確立することが困難ということになれば、政府の役割も重要になってくる。カザフスタンでは、1990 年代には政府は農業に対する支援策を殆ど放棄していたが、この 2～3 年、石油収入の増大などにより財政状態が好転して、補助金などを通じた農村への所得移転が可能になりつつある。砂漠化の進展を防ぐような持続的農業の形を築きあげるためには、基本的に市場原理偏重・自由放任型であった体制転換後の農業政策を完全に見なおし、環境重視的な農村支援策を積極的に打ち出すことがカザフスタン政府に求められる。

5. 本研究により得られた成果

北部・南部共通して、砂漠化進行速度あるいはそのリスクは、立地によって多様であった。本研究で対象とした圃場に限れば、①北部畑作地帯では台地頂部における大きな土壌有機物分解速度、南側斜面における作物収量の低さ(低い残さ投入量)が、土壌有機物収支をマイナスとするリスク要因として挙げられた。②一方、南部灌漑農業地帯では、比較的平坦な地形上に灌漑農地を開いた場合、排水不良による除塩機能の低下／水田における塩害の深刻化が見られた。ただし、これらの知見はあくまで本研究対象地で得られた一事例であり、今後知見を増やしてより一般的な砂漠化促進要因として整理されなければならない。③砂漠化進行リスクが、程度の差こそあれ地形条件によって規定されているという事実は、逆に地形条件にうまく適応することによって、砂漠化リスクを回避あるいは軽減させる土地利用が可能であることを示唆している。すなわち「適地適作」の実施である。高リスク地での土地利用の転換(農地から牧草地へ)あるいは低リスク地の集約利用などを通して、農業経営の経済性を高めながら砂漠化リスクを軽減させることが可能であると考えられる。④砂漠化の進行あるいは抑制に影響を与える社会経済状況の調査によれば、特にここ数年の垂直インテグレーションの進行に伴って、農場の経済状況は若干上向きである傾向が把握できた。⑤しかしながら総体としてみれば、旧ソ連邦時代に比べると低投入型の耕作が継続しており、このことが北部畑作地における有機物投入レベルの低下、南部灌漑耕地における灌漑排水網の劣化を通して、砂漠化を加速する要因となりうる恐れがある。前述した地形適応型

土地利用のような慣行農法の部分的改良を通して、農業経営の経済性を改善し、砂漠化リスクを軽減させるような対策を確立することが強く望まれる。

なお、本研究成果はサブテーマ1やサブテーマ6へ提供され、そこで解析、有効利用された。

6. 引用文献

- 1) S. Funakawa, R. Suzuki, E. Karbozova, T. Kosaki, and N. Ishida. 2000: Salt-affected soils under rice-based agriculture in southern Kazakhstan. *Geoderma*, 97, 61-85.

7. 国際共同研究等の状況

本研究は、カザフスタン穀作研究所、NPO Thetys、カザフスタン科学アカデミー土壌学研究所、アルマティ農業大学、北カザフスタン大学との共同研究として実施した。特に定期的な現地調査に当たっては、カザフスタン側研究者に実質的な作業の協力を得た。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表（学会誌・書籍）

<学術誌（査読あり）>

- ① T. Kosaki: The Proceedings of International Symposium on Combating Desertification “Strategies for Yellow sand Prevention”, Korean Forest Service, Seoul, Korea, 1-24 (2002) “Desertification (Soil Degradation): Causes and Remedies.”
- ② K. Tobe, L. Zhang and K. Omasa: Seed Science Research, 13, 47-54 (2003) “Alleviatory Effects of Calcium on the Toxicity of Sodium, Potassium and Magnesium Chlorides to Seed Germination in Three Non-halophytes.”
- ③ 石田紀郎：国際農林業協力, 26(9), 6-10 (2004) 「カザフスタンにおける灌漑農業の問題点。」
- ④ T. Kosaki: The Proceedings of the International Forum “We shall keep a planet the Earth”, 74-77, The V.V. Dokuchaev Central Museum of Soil Science, St. Petersburg, Russia, 74-77 (2004) “What should pedologists contribute towards the security of food and environment in the 21st century? (Plenary paper).”
- ⑤ E. Karbozova, S. Funakawa, K. Akhmetov and T. Kosaki: Soil Biol. Biochem., 36 (2004) “Effect of summer fallow on soil organic matter status of Chernozem soil in North Kazakhstan.” (in press)

<学術誌（査読なし）>

- ① 石田紀郎：ロシア東欧貿易調査月報, 7, 67-84 (2001) 「アラル海環境問題と農業」
- ② S. Funakawa and T. Kosaki: Integration and Regional Researches to Combat Desertification -Present Status and Future Prospect- The 16th Global Environment Tsukuba, (H. Shimizu, ed.) Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, p. 231-238 (2002) “Salt-affected soils under large-scale irrigation agriculture in Central Asia.”
- ③ Y. Morimoto, M. Horikawa, Y. Natuhara, K. Pachikin and N. Ishida: Integration and Regional Researches to Combat Desertification -Present Status and Future Prospect- The 16th Global

Environment Tsukuba, (H. Shimizu, ed.) Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, p. 231-238 (2002) “Monitoring vegetation dynamics arising from Aral Sea desertification.”

- ④ 舟川晋也：ペドロジスト, 47, 55-63 (2003) 「ジオスタティスティクスを用いた四次元的土壌プロセスの解明——北部カザフスタン穀作農業地帯における土壌有機物収支——。」

<書籍>

- ① 石田紀郎：世界の湖（滋賀県琵琶湖研究所編）人文書院, 87-95 (2001) 「アラル海—陸地化する湖」
- ② 舟川晋也、小崎隆：地球環境ハンドブック（不破敬一郎・森田昌敏編）pp.1129, 朝倉書店, 東京, 708-717 (2002) 「アラル海地域の砂漠化。」

<報告書類等>

- ① 石田紀郎：ロシア東欧貿易調査月報, 7, 67-84 (2001) 「アラル海環境問題と農業」
- ② 石田紀郎：JRAK 調査報告書, No.10, 日本カザフ研究会(京都) (2002) 「中央アジア乾燥地における大規模灌漑農業の生態環境と社会経済に与える影響」
- ③ 石田紀郎：JRAK 調査報告書, No.11, 日本カザフ研究会(京都) (2003) 「中央アジア乾燥地における生態環境と社会生態に関する研究。」

(2) 口頭発表

- ① T. Kosaki: Plenary lecture in Korean Forest Service (2002) “Desertification (Soil Degradation): causes and remedies.”
- ② 舟川晋也：日本ペドロロジー学会 (2002) 「ジオスタティスティクスを用いた四次元的土壌プロセスの解明——北部カザフスタン穀作農業地帯における土壌有機物収支——。」
- ③ 三嶋あずさ、矢内純太、舟川晋也、Akshalov Kanat、Erzhanov Koishibai、小崎隆：日本土壌肥料学会2002年度大会 (2002) 「カザフスタン北部畑作地における炭素動態の空間変動解析。」
- ④ 角野貴信、舟川晋也、小崎隆：日本土壌肥料学会2002年度大会 (2002) 「異なる生態環境下における易分解性土壌有機物量規定要因の解析。」
- ⑤ T. Kosaki: Special lecture in North Kazakhstan University (2002) “Challenges to Desertification in Central Asia. Towards wise use of natural resources for sustainable food production and environmental conservation.”
- ⑥ 三嶋あずさ、矢内純太、舟川晋也、Akshalov Kanat、Erzhanov Koishibai、小崎隆：日本土壌肥料学会 2003 年度大会 (2003) 「土壌有機物動態に基づく土地利用の適正化——カザフスタン北部における半乾燥畑作地の事例。」
- ⑦ T. Kosaki: Plenary lecture in International Forum “We shall keep a planet the Earth”, The V.V. Dokuchaev Central Museum of Soil Science, St. Petersburg, Russia (2004) “What should pedologists contribute towards the security of food and environment in the 21st century?”
- ⑧ T. Kosaki, S. Funakawa, A. Mishima, Y. Sugimori, Y. Takata, J. Yanai, K. Akshalov and N. Ishida: International symposium: Evaluation and monitoring of desertification – Synthetic activities for the

contribution to UNCCD. Tsukuba, Japan (February, 2004) “Desertification processes and their control for sustainable use of land resources in Central Asia.”

- ⑨ R. Yamamura: International symposium: Evaluation and monitoring of desertification – Synthetic activities for the contribution to UNCCD. Tsukuba, Japan (February, 2004) “Socio-Economic Factors Affecting Agro-Ecological Process in Kazakhstan.”
- ⑩ M. Horikawa, Y. Natuhara, Y. Morimoto and N. Ishida: International symposium: Evaluation and monitoring of desertification – Synthetic activities for the contribution to UNCCD. Tsukuba, Japan (February, 2004) “Evaluation of Wetland Ecosystem by using Waterfowl “Pelicans” in lower Syr-darya region Kazakhstan.”
- ⑪ Y. Sugimori, S. Funakawa, K.M. Pachikin and T. Kosaki: International symposium: Evaluation and monitoring of desertification – Synthetic activities for the contribution to UNCCD. Tsukuba, Japan (February, 2004) “Analyzing the soil salinization process using local terrain information -a case study of a paddy irrigation system of southern Kazakhstan-.”
- ⑫ Y. Takata, A. Mishima, S. Funakawa, J. Yanai, K. Aksharov and T. Kosaki: International symposium: Evaluation and monitoring of desertification – Synthetic activities for the contribution to UNCCD. Tsukuba, Japan (February, 2004) “Carbon budget in the semi-arid croplands of northern Kazakhstan.”
- ⑬ A. Mishima, J. Yanai, S. Funakawa, K. Akshalov and T. Kosaki: International symposium: Evaluation and monitoring of desertification – Synthetic activities for the contribution to UNCCD. Tsukuba, Japan (February, 2004) “Spatial variability of organic matter dynamics in the semi-arid croplands of northern Kazakhstan. – How can we make it sustainable? –”

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

- ① 北カザフスタン放送テレビニュース (2002年5月14日, 中央アジア砂漠化プロセス研究成果の紹介)
- ② 成果の記者発表 (2002年5月14・15日, 於北カザフスタン大学)

9. 成果の政策的な寄与・貢献について

今後も本研究の成果である砂漠化指標について、国連砂漠化対処条約(UNCCD)の科学技術委員会(CST)および砂漠化対処条約アジア地域テーマ別プログラムネットワーク 1 (TPN1)の活動に貢献する。また、カザフスタンのカウンターパート等を通じ、本共同研究成果、特に砂漠化モニタリング・アセスメント分野や砂漠化対策分野の広報・普及に努める。