

# 灌漑農業における塩類集積対策の時間・空間的選択の費用便益評価 —カザフスタンのイリ川流域での事例研究—

楠美順理<sup>1</sup>・盛岡通<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 環境科学修 大阪大学大学院工学研究科 (〒565 大阪府吹田市山田丘 2-1)

<sup>2</sup>正会員 工博 大阪大学教授 (〒565 大阪府吹田市山田丘 2-1)

塩類集積被害が、将来、もしくは下流域へ移転することの効果を明確化するため、カザフスタンのイリ川流域について、5つの異なる灌漑・排水方式の代替案を設定し、シミュレーションにより各代替案の純便益の定量化と比較を行う。シミュレーションは、粗農業収益評価モジュール、外部不経済評価モジュール、将来純便益評価モジュールからなり、灌漑水量、社会的時間選好率、評価期間を主な操作変数とし、各代替案により生じる将来便益の純現在価値(NPV)を目的変数とする。時間的移転については、社会的時間選考率、評価期間により純便益の変化する様を定量的に示し、空間的移転に関しては、総じて下流域への移転が望ましくないことを得ている。

**Key Words:** cost-benefit analysis, salinization, irrigation-drainage strategy

## 1. 目的と背景

中央アジアでの沙漠化につながる塩類集積は、シルダリア川流域のクジルオルダ周辺で特に顕著である。塩類集積に限らず、アラル海問題の原因解明には多くの自然科学的調査・研究を待たねばならないが、塩類集積発生の社会的背景には、旧ソ連政府によるモノカルチャー政策への傾倒、元来遊牧民であるカザフ人による不慣れな営農形態、大規模な水資源開発、環境資源の劣化に伴う経済活動水準の低下、旧ソ連崩壊に伴う政治的混乱等がある。

原因解明のための努力と並行し、現状で実行可能な対策の方向づけとその早期実施がまず必要である。全体として、必要に応じた国際援助の下での、カザフスタンの新しい政治経済体制による新秩序の創出と定着が何より望まれるが、対症療法として、地域全体での灌漑効率の改善<sup>1)</sup>等、経済援助により直ちに実行可能な営農形態の改善が必要である。更に進んだ総合的対策の検討が望まれるが、そのような研究はこれまで存在しない。

一方で、塩類集積発生の背景には灌漑農業の持続と農業収益の追求というコンフリクトがつきまとっており、メソポタミア文明の崩壊以来、乾燥地農業の恒常的課題として存在し続けている<sup>2)</sup>。収量の

確保・増大には一定量以上の灌漑が必要であり、一定量以上の灌漑はウォーターロギング、塩類集積を伴う。このコンフリクトに対しては、水質向上、灌漑量抑制、排水促進、発生後のウォーターロギング・塩類集積の緩和・回復、高塩分下での営農法の工夫による収量の増大等が試みられてきた。すなわち、利用水源、栽培品種、輪作形態、灌漑装置、灌漑水量の時間的・空間的配分、排水装置、排水装置の設置法、排水路整備、排水先の整備等の開発と考察に関して、多くの研究がなされてきた。

品種改良・技術開発等により、生産水準は向上し、局所的には塩類集積発生のポテンシャルは低下したが、灌漑の影響を受けた乾燥地での水分移動は、結局は塩分の局在化を招き、問題は時間的・空間的に移転、外部化されて尚存在し、塩類集積を引き起こすコンフリクトの基本的図式は変わっていない。これに対し、塩類集積発生のリスクの下での灌漑農業形態を、将来にわたって経済学的に検討した研究は若干存在する。Knapp<sup>3)</sup>他、動的最適化モデルの構築による灌漑水利用の最適化を目指した研究で、本研究に類似した枠組みを設けたものはあるが、いずれも塩類集積の防止が可能であると仮定しており、上述のコンフリクトには着目していない。また、環境評価手法としては、ヘドニック、トラベ

ルコスト法、CVMといった手法が、一般に流布しているが、いずれも農地評価には問題を含んでいる。

これらを受け、本研究では、塩類集積にまつわるコンフリクトを対象とし、土地の生産性に着目し、自然科学的評価を含む費用便益分析により、アラル海周辺域の塩類集積問題についての総合的検討を行う。具体的には、技術導入の可能な改善策を講じたとしても、尚生じざるを得ない塩類集積被害が、将来、下流域へどのように移転し、地域社会の灌漑農業の長期的便益にどのように影響を与えるかを評価することを試みる。ただし、クジルオルダで主に採用されている水稻栽培は、乾燥地においては例外的であり、その是非について一般的に意見が別れる上、アラル海問題に限っても塩類集積との因果関係について不明な点が多いので灌漑・排水手段や塩類集積対策手段から除外する。また、灌漑・排水装置、栽培作物品種の選択は将来便益を左右するが、純粋な経営選択問題であり、塩類集積発生のコンフリクトを直接に左右しないので、この研究では取り扱わない。

作物選択や輪作形態選択は土壤保全、灌漑農業の持続性を考察する上で重要な項目であるが、問題を塩類集積に限り単純化するために、連作障害がないものとして单一作物の連作を仮定する。作物を活用した、ウォーターロギングによる上昇水分の利用とウォーターロギングの緩和手段は、不明な点が多いので、考察対象から除外する。更に、灌漑水質の改善は、必要費用との関係が自明であり、対象圃場での灌漑水質が十分良いので、考察から外す。

以上を受け、灌漑水量の操作による塩類集積発生の時間的ずれ、排水施設の導入による圃場内塩類集積の防止、排水先の選択による下流域塩類集積発生の時間的・空間的移転を比較評価の対象として絞り込み、コンフリクトの対立要因が典型的に表れる5つの灌漑・排水開発計画を立案する。その上で、各代替案ごとに、塩類集積被害を差し引いた純便益を計量し、意思決定主体が施策を選択できる形での情報を集約することを試みる。

## 2. 代替案の立案と評価方法

### (1) 評価方針

アルマティ州もしくはカザフスタンの行政主体が、外部からの融資により灌漑排水事業を行うことを想定した上で、農業従事者の私的費用便益を単位面積当たりで計量する。カザフスタンは市場経済への移行期間にあり、需要や市場価格に関する統計は

表-1 各代替案の相対的特徴

代替案	初期 投資額	排水 施設	圃場内 塩類 集積	初期の 収量	将来の 収量	外部不経済 (下流域の 塩類集積)
I	無	無	無	無	無	無
II	少	無	有	高	無	無
III	少	無	無	低	低	無
IV	中	有	無	高	高	有(多)
V	多	有	無	高	高	有(少)

存在せず、余剰計算は不可能であるので、行わない。同様に、計量に用いる価格としては、政府の決定価格とヤミ価格を参考にカザフスタン農業アカデミーが計測した値を用いる。これに塩類集積の軽減・移転に関する費用（もしくは便益）を加え、対象圃場面積全体での社会的費用（もしくは便益）を計量する。

アラル海周辺域同様に塩類集積が発生しつつあるカザフスタン南東部アルマティ州バカナス地区の、バルハシ湖に流入するイリ川中流域のソフホーズ、ベレケを選び、圃場面積を変数とした上で、下流域方向に隣接した未耕地を考察対象圃場と想定する。バカナス地区 (44.48N, 76.15E) は年間降水量 114.3mm、年平均気温 9.1°C で、地区全体で 31671ha、ベレケソフホーズだけで 5202ha の圃場で、解体されつつあるソフホーズによって小麦、アルファルファ及び水稻栽培が行われている。灌漑水の水源はイリ川であるが、現在、利用水量節約のための管理はずさんであり、必要量は供給されている。

本研究では、スプリンクラー式灌漑農業による冬小麦の1年1作の連作を想定する。塩類集積の経済評価の骨格を構築する立場から、アルカリ化問題を別事象として考察から外している。既述のように水質、栽培品種、輪作形態、灌漑装置、排水装置、排水装置の設置法の選択等の塩類集積緩和と軽減策は、費用便益の増減を伴わないので、考察対象から除外する。労働生産性、労働人口等の農業生産技術に関する変数は全て現在のものに固定し、将来にわたって定数として扱った。

費用便益が増減する構造の複雑な灌漑水量、排水路整備、排水先の整備に関する選択を考慮し、現状維持の選択肢に加え、検討する価値の高い以下の4つの代替案を設定した。

I : 農業開発のない状態、比較対象としての現状(以下 I と略、他も同様)

II : スプリンクラー式灌漑施設を導入し、短期的収量の最大化をはかる灌漑水量による灌漑方式

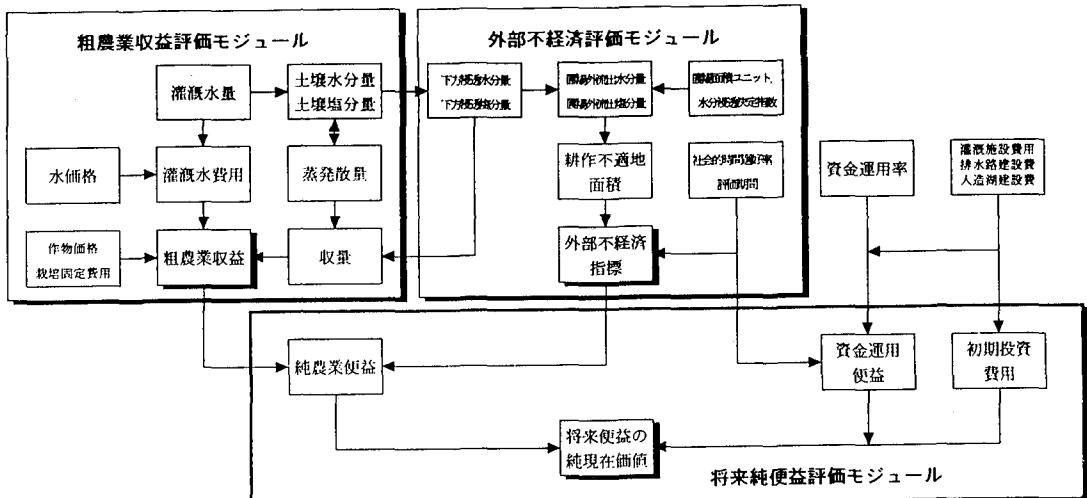


図-1 シミュレーションの構造と主要変数間の関係

III：スプリンクラー式灌漑施設を導入し、地下水水量の保全をはかる灌漑水量による灌漑方式

IV：代替案IIに、排水路の建設と排水専用地へ集中的に排水する排水方式を加えた案

V：代替案IIに、排水路の建設と仮想的ゴム製人造湖の建設、及びそれへの集中排水をする排水方式を加えた案

各代替案の特徴を表-1に示す。Iでは荒れ地に手を加えず、融資される資金の運営だけを行う。IIでは、初期投資が低く収量が多いため、短期的には高い収益が挙げられるが、排水施設がないために、将来には塩類集積により農業の継続が不可能となる。IIIでは地下水水量の保全により塩類集積が発生しないため、農業の持続は可能であり、初期投資も少ないが、収量が少なく短期的には便益が低い。IVでは、より多くの初期投資により圃場内の塩類集積は完全に防げるが、圃場外への外部不経済を伴う。Vでは、IVで発生する外部不経済の一部を未然に防ぐが、より多くの初期投資を必要とする。なお、ドリップ式灌漑方式では、土壤表層での塩害問題が、現実には顕在化していないが理論的には予想されている。ドリップ式灌漑方式と水分収支状況に関し類似しているIIIには、この効果があるはずであるが、本研究では扱っていないことを触れておく。

代替案の実施によって生じる将来にわたる純便益を現在価値(NPV)に変換した上で、それをコンピュータシミュレーションによって算定することで各代替案の評価を行う。シミュレーションでの各変数の関係とモジュールの構成を図-1に示す。全体

は粗農業収益計量モジュール、外部不経済計量モジュール、将来純便益計量モジュールの3つのモジュールで構成される。既述の代替案設定で取り上げた技術的対策のうち、排水路整備、排水先の整備の選択は、異なる代替案間で非連続な項目として、灌漑水量は連続な操作変数として扱う。

更に、便益の異時点間の比較評価に関する操作変数である社会的時間選好率( $r$ )、評価期間( $T$ )他、表-2に定義した各変数を用い、5つの代替案ごとに0.1 ha当たりのNPVを式(1)～(5)に従って求める。

$$NPV_I = \frac{(1+\rho)^T}{(1+r)^T} (CI + CD + CAP) - (CI + CD + CAP) \quad (1)$$

$$NPV_{II} = \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+r)^t} (pY_{II} - wQ_{II} - RCC) + \frac{(1+\rho)^T}{(1+r)^T} (CD + CAP) - (CI + CD + CAP) \quad (2)$$

$$NPV_{III} = \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+r)^t} (pY_{III} - wQ_{III} - RCC) + \frac{(1+\rho)^T}{(1+r)^T} (CD + CAP) - (CI + CD + CAP) \quad (3)$$

$$NPV_{IV} = k_{NPV} \left[ \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+r)^t} (pY_{IV} - wQ_{IV} - RCC) \right] + \frac{(1+\rho)^T}{(1+r)^T} CAP - (CI + CD + CAP) \quad (4)$$

$$NPV_{V} = k_{NPV} \left[ \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+r)^t} (pY_{V} - wQ_{V} - RCC) \right] - (CI + CD + CAP) \quad (5)$$

なお、以下全ての式中の各記号の定義を表-2に整理した。NPV<sub>II</sub>～NPV<sub>V</sub>の第1項では純農業収益

表-2 全外生変数、全操作変数、主要内生変数の一覧、定義、標準設定値

## 粗農業収益評価モジュール

外生変数	
m~mb	栽培期間。Dmitriev <sup>4)</sup> を参考に、Sep.15~July 25.
me	FAO <sup>5)</sup> , Dmitriev <sup>4)</sup> を参考に設定した5つの作物成長期の各末日 Sep.30, May16, June5, July10, July 25.
FC	1層30cmの4層に分割した根域の圃場容水量。Kosugi <sup>6)</sup> より78[mm/30cm].
PWP	1層30cmの4層に分割した根域の永久しづれ点。Kosugi <sup>6)</sup> より23[mm/30cm].
at	栽培期間である9月~7月の日最大蒸発散量[mm]。カザフスタン気象庁内部資料より引用。
kc	作物成長期ごとの冬小麦の作物係数。FAO <sup>5)</sup> より0.40, 0.80, 1.20, 0.75, 0.25.
f	理想的蒸発散量[mm]。atにkcを乗じて得る。
cbun	1層30cmの4層に分割した根域の各層からの蒸発散の割合。FAO <sup>7)</sup> を参考に50.25:15.10.
$\theta_{in}$	土層ごとの栽培開始時の初期土壤水分量。0, 30, 37, 41[mm/30cm].
coirr	灌漑水質。舟川他 <sup>8)</sup> より引用。0.95[mol/m <sup>3</sup> /30cm].
salin	土層ごとの栽培開始時の初期土壤塩分量。予備的検討より2.1, 2.7, 3.2, 3.5[mol/m <sup>3</sup> ].
rpc	クリスチャンセンの係数。スプリングクラー式灌漑として比較的よい値80%を仮定。
Ym	冬小麦の年間最大収量。Dmitriev <sup>4)</sup> より400[kg/0.1ha].
ky	収量予測に関連する第2,3,4成長期の収量決定指標。FAO <sup>5)</sup> より0.2, 0.6, 0.5.
eic	スプリングクラーからの放水から地表への到達までの圃場内灌漑効率。比較的よい値0.8を仮定。
irp	栽培期間内の10日毎の雨量[mm]。カザフスタン気象庁内部資料より引用。
p	冬小麦価格。Dmitriev <sup>4)</sup> より0.1382[\$/0.1ha].
w	灌漑水価格。Dmitriev <sup>4)</sup> より0.000508[\$/m <sup>3</sup> ].
WTin	初年の栽培開始時の地下水深度。Ogar <sup>9)</sup> , Plisak <sup>10)</sup> を参考に4000[mm].
ETmax	栽培期間における可能最大蒸発散量。Dmitriev <sup>4)</sup> より550[mm].
ETmax <sup>1~3</sup>	第2,3,4成長期の可能最大蒸発散量。Dmitriev <sup>4)</sup> より240, 90, 139 [mm].
操作変数	
I <sub>ET</sub>	日蒸発散量決定指標。標準設定値として0.45.
rwdef	栽培開始時の土壤水分不足量に対する灌漑水量の比。Dmitriev <sup>4)</sup> より0.55.
km	栽培開始時を除く、栽培中の灌漑回数。Dmitriev <sup>4)</sup> より3[回].
id	栽培中の灌漑日時。Dmitriev <sup>4)</sup> よりMay 16, Jun 2, June 19.
Q <sub>(Q<sub>H-v</sub>)</sub>	栽培開始時と栽培中の3回の総灌漑水量。各代替案それぞれ、499,372, 499,499[mm]or [m <sup>3</sup> /0.1ha].
主要内生変数	
td	栽培期間の時間[日].
$\theta$	1層30cmの4層に分割した根域の各層の土壤水分量 [mm/30cm].
ET	一日の蒸発散量[mm/0.1ha].
a, b	式(8)中の蒸発散推定のための未定係数.
i	1層30cmの4層に分割した根域の各層を表す指数。上から順に1~4.
j	栽培期間中の月を表す指數。9月から順に1~11.
ETA	栽培期間における蒸発散量として計量したもの[mm/0.1ha].
Y(Y <sub>H-v</sub> )	一年あたりの冬小麦収量[kg/0.1ha].

## 外部不経済評価モジュール

外生変数	
lmax	考察対象下流域長さ。バカナス地区からバルハシ湖の距離を参照し、150000[m].
Ecmax	冬小麦栽培の可能な最大の土壤塩分濃度。FAO <sup>5)</sup> より6.0[mS/cm].
A <sub>DP</sub>	排水専用地面積。標準設定値として345[0.1ha].
操作変数	
U	考察対象圃場面積。1ユニット200[0.1ha]のユニットを25と標準設定.
T	評価期間。標準設定値として30[年間].
r	社会的時間選好率。標準設定値として0.035.
r <sub>xs</sub>	式(19)のBを実際に操作する、耕作不適地長さ決定指標。標準設定値として0.125.
主要内生変数	
t	時間[年].
l	図-3に示した下流域の上流からの距離[m].
B	式(19)の耕作不適地面積の予測に使われる係数.
DP	圃場内の根域以下の下方へ浸透する水分量[m <sup>3</sup> /0.1ha].
DPC	圃場内の根域以下の下方へ浸透する塩分量[mol].
DR <sub>0</sub>	式(17)に示される排水路内総排水の初期量[m <sup>3</sup> ].
DR <sub>c0</sub>	DR <sub>0</sub> に含まれる塩分量。排水路内総塩分初期量[mol].
DR	式(15)で与えられる排水路内の総排水量[m <sup>3</sup> ].
DR <sub>c</sub>	DRに含まれる塩分量。排水路内総塩分量[mol].
X	式(19), 図-3に示される耕作不適地長さ[m].
A <sub>DB</sub>	Xと1で与えられる耕作不適地面積[0.1ha].
A <sub>ID</sub>	200Uで与えられる考察対象圃場面積[0.1ha].
K <sub>VDP</sub>	式(21)で与えられる外部不経済指標.
NPV <sub>IS</sub>	外部不経済を除く単位圃場面積当たり粗農業収益[\$/0.1ha].
NPV <sub>ID</sub>	外部不経済を含む単位圃場面積当たり純農業収益[\$/0.1ha].

## 将来純便益評価モジュール

外生変数	
$\rho$	資金運用率。標準設定値として0.04.
RCC	灌漑水以外の年間の冬小麦栽培費用。Dmitriev <sup>4)</sup> より27.49 [\$/0.1ha].
CI	灌漑施設導入費用。エイワスプリングクラー内部資料より350 [\$/0.1ha].
CD	排水路建設費用。Dmitriev <sup>4)</sup> より250 [\$/0.1ha].
操作変数	
CAP	仮想的ゴム製人造湖建設費用。A <sub>ID</sub> で割った単位面積当たり費用の標準設定値として100 [\$/0.1ha].
主要内生変数	
NPV(NPV <sub>1~v</sub> )	単位圃場面積当たりの将来純便益の現在換算価値[\$/0.1ha].

( $NPV_V$ ,  $NPV_V$ では外部性を含む) を計量し、他の項では、初期投資費用と資金運用便益の差額を計量する。純農業収益は、単年の収益を収量  $y$  と利用水量  $Q$  等を説明変数として求め、更に評価期間全体にわたる累積値を求め、現在価値への割り引きにより算定する。 $V$  では下流域へ移転される外部効果の金銭的な計量を含む。

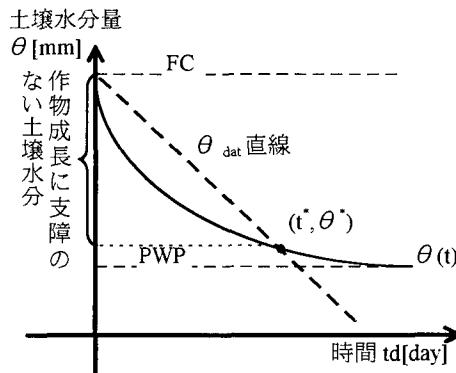
また、初期投資の最も必要な  $V$  への融資額  $CI+CD+CAP$  を、各代替案共通の融資額として仮定し、初期投資に使われないものは当該地域での灌漑農業以外のあらゆる経済機会で資金運用されるものとする。資金運用は平均的には資金運用率 ( $\rho$ ) でされると仮定し、社会的時間選好 ( $r$ ) により現在価値化して、資金運用便益を計量する。割引率は、社会的時間選好と資金運用の根拠により、総合的にその値が決定されることが多いが、環境資源の価値評価に関する社会的意思と、市場での貨幣運用による将来価値とを区別し、ここでは前者の社会的時間選好率をもって割引率とする立場をとる。

## (2) 粗農業収益の計量

粗農業収益とは、式(2)～(5)における  $pY-wQ-RCC$  である。この計量は、粗農業収益計量モジュールにおいて、水分・塩分収支計算、蒸発散量推定を基に、収量予測を中心に行われる。同モジュールでは、塩類集積発生の説明変数である下方浸透水分・塩分量の計量をも併せて行うため、以下では収量と下方浸透水分・塩分量それぞれの予測・計量方法を記す。

水分・塩分収支では、鉛直方向に 30cm の四層に分割した根域とそれ以深の地下水層の、鉛直一次元方向のみの圃場を対象とする。表層での水分の地上流失はないものとし、土壤水分は降水と灌漑のみによって補充され、上方向の蒸発散、下方向の浸透水のみによって減少するものとする。間隙率を 0.5 と仮定し、圃場容水量を上回った水分を各層間の浸透量としてカスケード状に扱う。根域の最下層以下、地下水までの土壤水分量は圃場容水量にあるものと仮定する。地下水系に関する現地のデータの不足により、開放系で水平方向の地下水の自然排水量をゼロとし、初期地下水位 4000mm の地下水系を仮定する。代替案 IV, V では、排水施設設置深度 1400mm での暗渠排水施設の導入を評価期間の期首で仮定しており、排水施設導入以後の地下水位は 1400mm に保たれると仮定する。塩分移動は全て水分移動に伴う移流のみを扱い、土壤水分中の塩分の拡散、土壤中の吸脱着等は考察から外した。

水分収支は(6)、塩分収支は(7)に従って計算する。



注：FC は圃場容水量、PWP は永久しおれ点をそれぞれ示す。  
図-2 気象データに基づく日蒸発散量決定指数 ( $I_{ET}$ ) の求め方

$$\theta_{td+1} - \theta_{td} = Q_{td} - DP_{td} - ET_{td} \quad (6)$$

$$c_{td+1} \theta_{td+1} - c_{td} \theta_{td} = Q_{td} c_q - DP_{td} \{ (c_{td+1} - c_{td}) / 2 \} \quad (7)$$

なお、降水と蒸発散の塩分濃度はゼロと仮定し、浸透水分の塩分濃度は  $td$  と  $td+1$  間の平均値を各層ごとに用いる。根域以下での累積塩分量は、四層に分割した土層からの浸透水が含む塩分の累積量として求める。

蒸発散 (ET) 推定関数は、

$$ET_{ij} = a_{ij} + b_{ij} \theta_{ij} \quad (8)$$

の様に土壤水分の一次関数と仮定し<sup>11)</sup>、以下でその未定係数を求める。土壤水分量以外で ET に影響を及ぼす気候等の諸条件は、単純化され  $a, b$  を月別に求めることに反映されている。以降、添え字の  $i$  と  $j$  を省略する。ET を一日を単位とする  $td$  の連続関数とみなし、 $\theta$  を  $td$  の関数として

$$\theta(t) = -a/b + (\theta_0 + a/b) \exp(-bt) \quad (9)$$

と解く<sup>12)</sup>。 $\theta_0$  は  $td=0$  における  $\theta$  の値を示し、以下では圃場容水量 (FC) を仮定する。 $\theta$  が永久しおれ点 (PWP) の時、植物からの蒸散はゼロであり、土壤からの蒸発も無視できるほど小さいので、(9) を書き換える、

$$b = -(1/td) \ln \{ (\theta - PWP) / (FC - PWP) \} \quad (10)$$

と表わす<sup>12)</sup>。

$\theta(td)$  は図-2 中の曲線で、図-2 中の  $\theta_{dat}$  直線と  $(td^*, \theta^*)$  で交わるように  $b$  を求め、更に  $a$  を求める。 $\theta_{dat}$  直線は、作物生育に支障のない土壤水分が与えられている時の一日当たりの理想的蒸発散量  $f$  を傾きとする  $td$  の線形関数で、

$$\theta_{dat} = \theta_0 - ft \quad (11)$$

である。 $f$  はカザフスタンの気象庁で月別に観測されているボテンシャル蒸発量 (at) に、作物係数 (kc) を乗じて求めた<sup>13)</sup>。 $\theta^*$  から FC までを作物生育に支

障のない土壤水分とし、 $\theta^*$ は全有効水分 TASM に対する比  $I_{ET}$  で、

$$\theta^* = I_{ET} (FC - PWP) + PWP \quad (12)$$

と表現する<sup>12)</sup>。 $I_{ET}$  の決定により  $a$  と  $b$  が定まるが、現地の観測データの不足につき  $I_{ET}$  は便宜上の変数とする。

蒸発散は、上層から順に 50:25:15:10 の比での発生を仮定した<sup>13)</sup>。冬小麦の成長特性を単純化し、蒸発散源土層は、休眠以前は第 1 層のみ、休眠以降は 4 層全てと仮定している。栽培期間と翌年の栽培期の間の休閑期の期末の各層土壤水分量は、現地での灌漑計画書に基づき仮定した。

冬小麦の成長過程を、10月1日、5月16日、6月5日、7月10日、栽培期間末期の7月25日を、それぞれの末期とする 5 つの成長期間に分割する。各期間ごとに、以上で推定した蒸発散量と以下に採用した収量関数<sup>5)</sup>

$$(1-Y/Y_m) = ky(1-ETa/ETm) \quad (13)$$

により、可能最大収量に対する実際の収量の割合で表される各期  $i_p$  ごとの収穫率を求め、

$$ky = (\sum k_{y_ip} ETd_{ip}) / ETd \quad (14)$$

により<sup>14)</sup>、それらを統合し、収量を求めた。

単純化のため、栽培開始時の灌漑水量、灌漑回数、灌漑日時はカザフスタン農業アカデミー内部資料<sup>4)</sup>に従った。これらと降水量データの入力、以上で示した本モジュールの構造により、地下浸透水分量と収量は、栽培中の灌漑水量に応じ、一義的に決定される。この決定機構を利用し、本モジュールのみを用いた予備的検討により、各代替案設定の意図に沿う栽培中の灌漑水量を具体的に決定した<sup>15)</sup>。

II ではウォーターロギング、塩類集積、それに伴う作物成長への影響として収量減が予測される。しかし、その機構の理解は十分に解明されておらず、収量減の直接的評価は不可能であるので、地下水位が根圏域を犯し始める年の収量を 100%，地下水位が 0 m になる年の収量を 0% とし、その過程での年と収量の関係を 1 次関数と仮定する。

### (3) 外部不経済の計量

代替案 IV, Vにおいて、圃場から下流域に高塩分濃度の排水が排出される過程で、排水の横漏れにより、下流域の排水路近傍では塩害を伴う。これを外部不経済と呼び、その程度は式(4)(5)の  $k_{VP}$  で表現されるが、以下では、 $k_{VP}$  の定量化につながる耕作不適地面積の計量方法を記す。

ベレケの圃場を参考に圃場の配置を図-3 の様に単純化し、上流では基本ユニットの 20ha の圃場

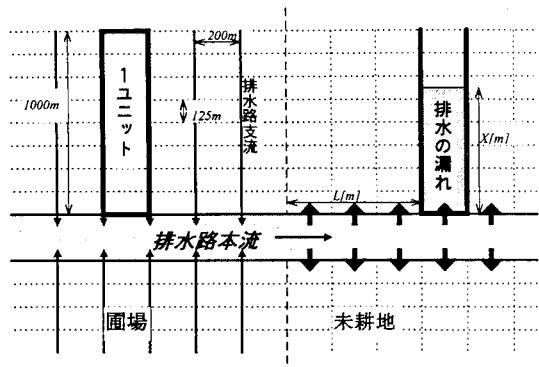


図-3 単純化した上流の圃場、及び下流の未耕地の系設定

群(1 U)が連続的に分布し、下流では便宜的に同面積に区切った未耕地が排水路本流の両側に連続的に分布する系を設定し、上流の排水により下流が受ける塩類集積の被害量を評価する。ここで支流から圃場への排水の漏れは暗渠排水施設により支流に逆戻りするものとし、長期的には漏れは相殺され、ないに等しく、従って圃場内塩類集積はないものと仮定している。

排水路本流からの横漏れ水分量は、排水路の流量、排水路壁面の土質、排水路近傍土壤での土壤水分量、及びその場での水分収支状況等に依存し、同塩分量は(6), (7)の関係のように、水分収支式の水量フラックスに各塩分濃度を乗じることで求められる。関連する変数のうち、本研究の枠組みの中で内生変数となっているものは、粗農業収益評価モジュールで一義的に決まる排水総量だけである。他方、外生的に与えるべき他の物理量は、本研究で想定している排水路と類似の排水路における観測データがカザフスタンでは存在しないため、現段階では設定が不可能である。一部、理論的推定が可能な変数があるが、検証材料の不足につき、ここでは将来のデータの充実の際に置き換えが可能な形を維持しながら、暫定的に以下で述べる代替的な方法によって横漏れ量を推定する。従って結果の数値に対する信頼性は低いが、将来の観測データの充実に従い、結果値の更新は容易である。

排水路建設を仮定している地域には水稻用灌漑水路があり、計画段階の値ではあるが、圃場外灌漑効率から、水路からの水分損失量が求められる。圃場外灌漑効率は、灌漑水路の上流（通常、各ソフホーズの水門）の水量に対する、下流（圃場）での水量の比として表現される。水分が下流に至るまでの水分損失は蒸発と横漏れによるが、そのほとんどが

横漏れであることを利用し、1から圃場外灌漑効率を減じたものを、排水路からの漏れ量の割合として代替的に用いる。

圃場外灌漑効率は0.6とされている<sup>4)</sup>が、この値の利用に際して、上流下流間の距離に関する規定はない。ベレケ農場での、ベレケ農場全体の取水口から最も遠い圃場までの距離が13000m強であること、ベレケ農場の圃場の分布を参考に、上流、下流間の距離を6000mと仮定した。これから、下流1[m]における排水流量は、

$$DR = DR_0 \times 0.6^{\frac{1}{6000}} \\ = DR_0 \exp(-8.51 \times 10^{-5}l) \quad (15)$$

と表現される。下流の1U、つまり $\Delta l = 200$ における漏れ量 $\Delta DR$ は、

$$\Delta DR = DR_0 \exp(-8.51 \times 10^{-5}l) \\ - DR_0 \exp(-8.51 \times 10^{-5}(l+\Delta l)) \\ = 0.0169 DR_0 \exp(-8.51 \times 10^{-5}l) \quad (16)$$

となる。また、 $DR_0$ は

$$DR_0 = 200U \times DP \quad (17)$$

である。

次に、排水路からの漏れの時間、空間的分布を推定する。原理的には、排水路近傍の土壤での水分収支は、鉛直方向と排水路断面に垂直な水平方向の二次元に関してダルシー則を適用し、毛管現象を含めた扱いが可能である。しかし、以上では年間の横漏れ水分量のみが推定可能であり、一日単位程度の土壤水分量、圧力水頭、排水路からの漏れ水量の変動が不明なこと等から、将来のデータの充実を待ち、本モジュールの目的変数である耕作不適地面積の範囲を求め、未知変数を集約した一つの指標の決定により耕作不適地面積が一義的に定まる構造を作ることとする。

図-3に示すように、塩分濃度の閾値を越えた耕作に適さない土地の長さをXとする。図-4に示す時間の関数としての曲線Xを表現するにあたり、二つの境界条件が存在する。一つ目は、

$$X = gt \quad (18)$$

である。係数gは、各ユニットにおいて、栽培が不可能な塩分濃度の閾値ちょうどに塩分が分配される状況を想定した場合の、tに応じたXの変化の割合である。もう一つは、現地での塩類集積調査よって<sup>15)</sup>、耕作不適地長さの最大値として推定される150mで、図ではこれらが漸近線となる。よって、X(t)は、

$$X(t) = -150 \exp(-Bt-1) \quad (19)$$

ただし、 $(dX/dt)|_{X=0} = 150B < g$

$$B > 0$$

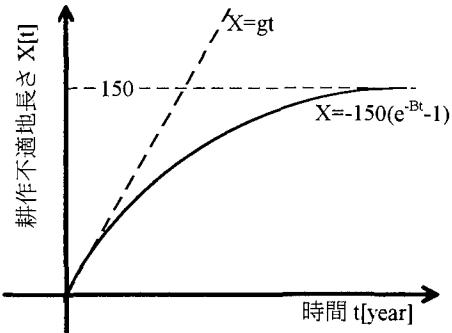


図-4 耕作不適地長さを表す曲線の設定方法

と表現される。求めるXは、局所的には指数関数的振る舞いとは異なる部分があるが、単純化を目指す立場から、このように操作変数Bに容易に集約できる関数系を仮定する。以上で、実測値の存在しない排水路からの漏れ量の推定が操作変数の操作を介して可能となる。具体的には、Bの操作により式(19)よりXがまず求められる。更に図-3に示した系設定に従い、 $\Delta l$ ごとのXの値を集計し $A_{DP}$ を求める。Bの具体的な操作は、耕作不適地長さ決定指標 $r_{XS}$ に依る。 $r_{XS}$ は、図-4の $t=0+\Delta t$ において、(19)で示される曲線が通る点のy座標を、直線(18)が通る点のy座標に対する比で示したものである。

#### (4) 将来純便益の計量

式(1)～(5)において $NPV$ で表される将来純便益の計量方法を以下に記す。

粗農業収益計量モジュールで求めた、単位圃場面積当たりの粗農業収益( $NPV_{IS}$ )は考察対象圃場の地代に相当する。前節では、耕作不適地面積を求めたが、以下では、その地代、及び排水専用地面積の地代を求め、それらから更に、下流域の外部性を考慮に入れた上で単位圃場面積当たりの純農業収益( $NPV_{ID}$ )を求める。

耕作不適地及び排水専用地の地代としてはまず、未耕地としてゼロ、あるいは将来耕作の可能性を考えて圃場のそれに等しいという考えが可能であるが、ここでは問題の空間的移転を考察するため、後者の立場に立つ。更に、下流の地代の値が上流の地代のそれに影響を及ぼす構造については、解釈により二つの可能性がある。一つは、その構造が入れ子のように下位の構造と上位の構造の間に無限に続くとするもので、もう一つは一度限りのものと解釈するものである。耕作不適地及び排水専用地の地代は、前者の立場では $NPV_{ID}$ 、後者の立場では $NPV_{IS}$ にそれぞれ相当する。予備的検討で、 $NPV_{ID}$ を採用する。

ほうが  $NPV_{IS}$  を採用した場合に比べ、外部性が相対的に大きく評価されること、並びに、下流域の効果を含む代替案IV、Vの  $NPV$  が他の代替案の  $NPV$  に対して総じて少ないことが示されたので、IV、Vが他に優越しやすい場合を特に検討するため、 $NPV_{ID}$  採用の立場をとる。

耕作不適地面積は時間の経過とともに変化し、排水専用地面積は意思決定の期首に定まることを考慮に入れ、代替案IVについて、

$$A_{ID}NPV_{ID} = A_{ID}NPV_{IS} - A_{DP}NPV_{ID} - \left[ \sum \frac{A_{DB}}{(1+r)^T} \right] NPV_{ID} \quad (20)$$

と定式化する。なお、代替案Vは(20)で  $A_{DB}=0$  の場合があるので、以下では省略する。これより、 $k_{VDP}$  を

$$k_{VDPN} \equiv \frac{A_{ID}}{A_{ID} + A_{DP} + \sum \frac{A_{DB}}{(1+r)^T}} \quad (21)$$

と定義し、外部不経済の程度を示す指標として外部不経済指標と呼ぶ。

こうして外部不経済指標、単位圃場面積当たりの純農業収益を求め、資金運用便益、初期投資費用とあわせ、(1)～(5)から、各代替案ごとの  $NPV$  を求める。

### 3. 結果例と感度分析

以下では、特定の変数を操作し、それにともなって代替案の優越関係がいかに変化するかを結果として示す。物理的操作変数、外生変数の多くは、理論的におおよその値が決定された。一部、観測値が存在しない、もしくは研究の枠組みの性質上、値が一義的には決まらない外生変数については、経済評価の構造を見極めるために塩類集積のメカニズムの表現を単純化する立場から、以下に示す標準設定による計算を一貫して行った。

#### (1) 標準設定による結果例

値の設定に任意性の高い外生変数、及び報告では操作していない操作変数の中で、ここまで設定値について触れなかったものに、蒸発散量決定指数( $I_{ET}$ )、IIでの灌漑水量( $Q_{II}$ )、IIIでの灌漑水量( $Q_{III}$ )、評価対象圃場ユニット数( $U$ )、下流域の評価対象長さ( $l$ )、耕作不適地長さ決定指数( $r_{xs}$ )、排水専用地面積( $A_{DP}$ )、仮想的ゴム製人造湖建設費用(CAP)、社会的時間選好率( $r$ )、資金運用率( $\rho$ )、評価期間( $T$ )がある。

$I_{ET}$ は、現地の灌漑指導資料<sup>4)</sup>による、最大収量を

得るための灌漑水量に対応する蒸発散量、収量が、本シミュレーションと指導資料間で一致を見るように設定した。関連して、 $Q_{II}$ 、 $Q_{III}$ は予備的検討により収量( $y$ )との定量的関係を明らかにした上で、設定根拠に最も相応しいものをそれぞれ設定した。 $U$ は予備的検討から結果をあまり左右しないことが導かれたので地域のソフホーズでの小麦農場面積に準じた値を、 $l$ は最大値としてバルハシ湖までの大体の距離を、それぞれ選択した。 $r_{xs}$ は後述するように感度が鈍いので、影響を観察するために、結果に有意な影響を及ぼす値をやや任意に選択した。 $A_{DP}$ は排水量を参考に、必要量を設定した。なお、排水専用地の整備費用の見積もりは容易であるが、本研究の代替案比較の枠組みには重要ではないので、単純化を目指す立場から、特に扱っていない。CAPについては、予備的検討により CAP=0 でも人造湖の建設が望ましくないことが示されたが、他の代替案での余剰資金運営の効果を示すために、経済的に出費可能な費用の上限としての値を任意に設定した。 $\rho$ は、 $r$ との差によってもたらされる結果に有意性があるので、プロジェクト評価でしばしば用いられる 4%を仮定した。 $r$ と  $T$ は社会や意思決定主体の効用関数系により値が左右される操作変数なので特に注目し、他を操作するときの標準設定値は固定したが、基本的には一定変域にわたる結果を示す。以上、それぞれ設定した標準設定の具体的な値を表-2に示した。

異なる社会的時間選好率に対する各代替案の優劣関係の変化の様子を図-5に示す。資金運用の項の資金が最も少ないVで、 $r$ に対する感度が最も鈍くなっているのは、Vでは評価対象が自然環境に関わっている度合いが最も大きいこと、伴って貨幣換算される量が少ないと示している。これは、意思決定主体の時間選好に関し、将来にわたり最も不確実性の低いことを表している。式(1)～(5)自体の比較では、 $r$ に対し最も感度の高い代替案を判定することは困難であるが、図-5より  $NPV_1$  であることがわかる。また、(2)と(3)は同じ関数系をしている一方、 $Y_{II}$ は時間が経つにつれ収量の減少が顕著になり、 $Y_{III}$ は時間に関係なく一定である、という事情から相互の優劣関係は特に不明であった。図-5より  $NPV_{II}$  と  $NPV_{III}$  の差、優劣関係が  $r$  の操作に関わらずほぼ不变であることが明らかにされたが、これは  $NPV$  の比較に際しては、時間の経過につれた  $Y_{II}$  と  $Y_{III}$  それ各自的のふるまいの差が、十分大きかったことを示す。IVとVの  $r$ に対する感度差は、初期費用 CAP の差に主に起因しており、下流域での塩害による将

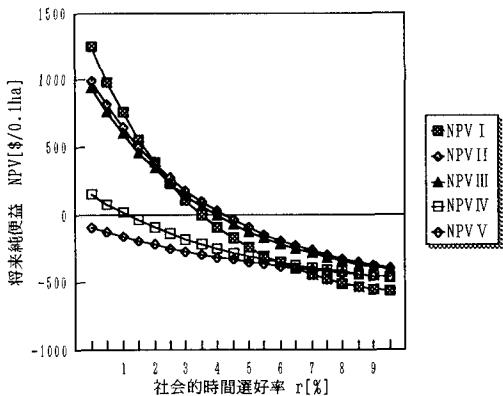


図-5 異なる社会的時間選好率に対する各代替案の優劣関係の変化（評価期間は30年）

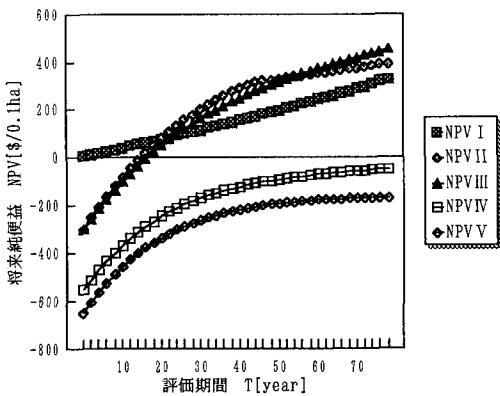


図-6 異なる評価期間に対する各代替案の優劣関係の変化（社会的時間選好率は3.5%）

来耕作可能性の残されている土地の喪失の影響は小さい。以上で明らかにされたことは評価期間の設定値によらない。例えば評価期間を80年に固定した場合の $r$ とNPVの関係を検討した感度分析でも同様の傾向を示した。

次に、異なる評価期間に対する各代替案の優劣関係の変化の様子を図-6に示す。まず、全体にNPVが小さいが、これはこのような農業の1年あたりの収益が少なく、特に初期投資が大きい場合は経済的には実行価値が低いことを表している。現実には、このために塩類集積防止手段が講じられず、このような開発を行った数年後に塩類集積が発生しており、融資ではなく無償援助が望まれることを示している。初期投資費用回収後までを評価した場合のIIの優位性と、その後までの評価をしたときのIIIの相対的優位性は予測通りであるが、IIとIIIが近接しているのは、対象圃場の土質により、III型の灌漑形態でも他の圃場に比べると収益をあげやすいものであるためであることを触れておく。

本研究では発生する便益を評価するにとどめ、消費と投資の分配は考察から除外している。ただし、評価期間いっぱいの資金運用と農業収益の発生時点での現在価値化は、暗に資金運用便益の100%の再投資と農業収益の100%の消費を意味している。従って、資金運用益の割合の高い代替案I等は相対的に過大評価されており、発生便益の分配問題が今後の課題としてあげられる。

## (2) 感度分析

前節で示したように、任意に定めた性格の強い外生変数、もしくは操作変数は $r_{xs}$ ,  $A_{dp}$ , CAP,  $\rho$ の4つである。

まず $A_{dp}$ はIVだけに影響する。排水総量が決まっているために、変動範囲は大きても数倍の幅である。たとえ、値を10倍にした時でも、評価期間が14年以上でNPV<sub>IV</sub>がNPV<sub>V</sub>を下回る程度であり、 $A_{dp}$ 設定値は結果に大きな影響を与えない。次に、CAPはI～V全てに影響するが、予想されるとおり、他全てを標準設定値としCAPを動かした場合、Vがその増加に応じ絶対的劣性を示すだけであり、ゼロでかろうじてIVを上回るだけである。ただし、その値によってVとそれ以外を大きく区別する。 $r_{xs}$ はIV, Vだけに影響を与える。図-6に示されるIV, Vの他に対する劣性は、 $r_{xs}$ ,  $r$ , CDのどれに起因するものかは不明だが、図-7に示す $r_{xs}$ をほぼゼロとした場合のNPVの $r$ に関する感度からわかるように、CDの寄与が最大である。言い換えれば、 $r_{xs}$ の感度は相対的に十分低い。 $\rho$ を10%とした時のNPVのTに関する感度を図-8に示す。10%で既に資金運用の項が大きく影響し、 $\rho$ がそれほど高ければ、経済的には想定しているような農業を行う意義の小さいことが示される。 $\rho$ は、その性質から外生的に与えられるものであるが、感度は高く、代替案選択には大きな影響を与えることが示された。

その他、計量結果の検証材料が少なく、NPVの値を大きく左右するものとして、収量関数がある。これまでの地域全体の平均収量にあうように、最大収量、最大蒸発散量等が設定されており、現存するデータによるこれ以上の精度の設定は不可能であるが、400[kg/0.1ha]の最大収量を、考えられる最大量として500[kg/0.1ha]としたところ、IとII, IIIが交叉する年が10年早くなっただが、全体にNPVが大きくなっただけで、他はIIとIIIの交叉する点を含め、全体の傾向は変わらなかった。

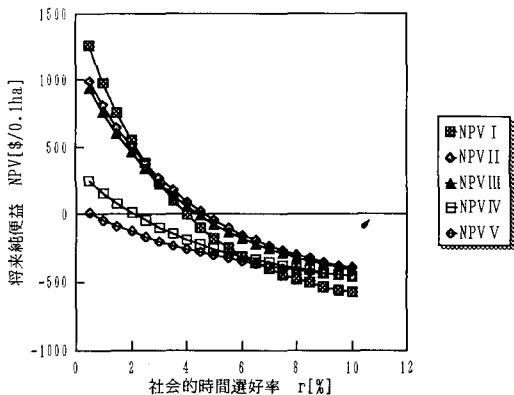


図-7 耕作不適地長さ決定指標をゼロとした場合の将来純便益 NPV の  $r$  に関する感度(評価期間は 30 年)

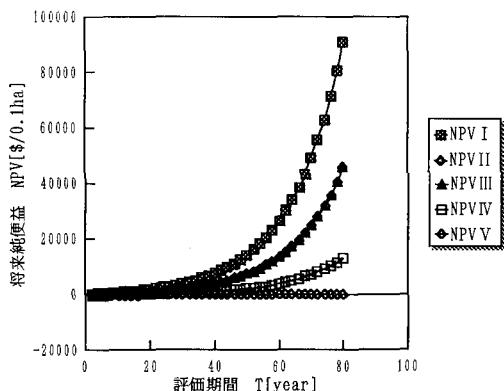


図-8 資金運用率  $\rho$  を 10% とした場合の将来純便益 NPV の評価期間  $T$  に関する感度 (社会的時間選好率は 3.5%)

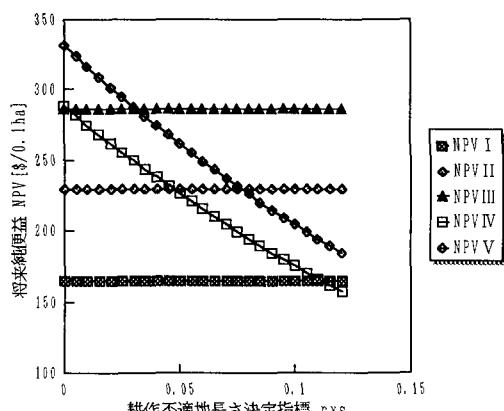


図-9 移転費用がゼロで評価期間が 80 年の場合の、異なる耕作不適地長さ決定指標の値に対応する代替案 IV, V の他の代替案との優劣関係群

#### 4. 考察と結論

本研究では、塩類集積発生の背景に存在し続けてきた灌漑農業の持続と農業収益の追求というコンフリクトを対象として、具体的には、灌漑農業を行う際に生じざるを得ない塩類集積被害をとりあげ、意思決定主体が、望ましい営農形態を選択できる形での情報整理を目的とし、設定した代表的代替案について、計量・評価を行った。

##### (1) 考察

塩類集積の上流、下流間での移転の是非を検討する際、焦点は、II の収量の減少具合と、IV, V での下流域での塩類集積被害、及び移転費用の比較にある。可能ならデータの充実を待った評価が望ましいが、移転費用と塩類集積被害双方の操作による総合的検討を行った。

第一に、最小量の移転費用を仮定し、塩類集積被害がないものとしたシミュレーションでは IV, V は II に劣ることが示された。

次に、排水路さえ建設せず、近隣河川への排水を行う様な場合の塩類集積被害の効果を検討する。移転費用 (CD, CAP) をゼロとし、評価期間は長期的効果の十分出る 80 年を例とした場合の、NPV の  $r_{XS}$  の変化に対応する変動の様子を図-9 に示す。具体的条件は  $r$ ,  $T$ ,  $r_{XS}$  の値によるものの、この場合でも、全体として下流域への移転は望ましくないことが多いことが示された。

以上から、さらに移転費用が生じる場合に、外部性まで含めた評価をする限り、一度問題を下流域に移転した上であらためて対策を行う意義は全くないことが示された。

##### (2) 結論

以上から、本研究の結論として以下を得た。

①圃場内の塩類集積を防ぐため排水施設を導入し、高塩分の排水を将来耕地として使う予定のある下流域に流すことは、上流、下流を含めた地域全体にとって望ましくない。

②塩類集積問題を将来に先送りする効果が、評価期間や社会的時間選好率にどのように依存するかを定量的に示し、意志決定の行えるモデルを構築した。具体的には、図-5 と図-6 により、 $r$  と  $T$  が与えられる場合の各代替案を簡易に比較する図式を提示した。本研究の枠組みに従った代替案選択をする限りにおいては、II の III に対する 54~56 年頃までの短期的優位性と、逆にそれ以降の長期的劣性

の構造が定量的に示された。

以上、本研究では時間と空間にまたがる問題の移転を扱ったが、環境利用の持続性と経済便益の長期的最適化は、まだ十分同時に評価されているとはいえない。消費と投資の分配問題や、更なる異時点間、異世代間便益移転評価手法、環境価値の計測手法としての下流域の土地の価値評価法の、具体的研究の発展が必要である。

**謝辞**：本研究では、カザフスタン関連のデータ収集にあたり、京都大学の石田紀郎助教授、小崎隆教授、繩田栄治教授、小杉賢一朗助手、京都府立大学の舟川晋也助手、大阪府立大学の渡辺紹裕助教授、守村敦郎氏をはじめとする日本カザフ研究会の諸先生方、カザフスタン農業アカデミーの Dmitriev L.N. 氏、カザフスタン科学アカデミー植物研究所の Ogar N.P. 博士、Temirbekov S. 氏他に多大な援助、協力をいたしました。また、灌漑排水施設に関して、エイワスプリンクラーの高塚三雄氏、Netafim Japan の Marcovicz E. 氏に貴重な情報を提供いただきました。更に塩類集積対策に関して、東京大学の松本聰教授、収量予測に関して京都大学の桜谷哲夫教授に貴重な助言をいただきました。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 渡辺紹裕、萩野芳彦、清水克之：アムダリア川・シルダリア川下流デルタ地域の灌漑農業と水管理、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—1995 年度調査報告—、日本カザフ研究会、pp.1-22、1996。
- 2) 前川和也：古代シュメール農業の技術と生産力 世界史への問い 2 生活の技術生産の技術 pp.47-74、岩波書店 1990。
- 3) Knapp, K.C.: *Optimal Intertemporal Irrigation Management under Saline, Limited Drainage Conditions,* The Economics and Management of Water and Drainage in Agriculture, pp.599-616, Kluwer Academic Publishers, 1991.
- 4) Dmitriev, L.N. 編纂：カザフスタン農業アカデミー内部資料。
- 5) FAO Yield Response to Water, *Irrigation and Drainage Paper 33*, pp.1-170, FAO, 1986.
- 6) Kosugi, K.: Three-parameter lognormal distribution model for soil water retention, *Water Resour. Res.*, vol.30, No.4, pp.891-901, April 1994.
- 7) FAO Water Quality for Agriculture, *Irrigation and Drainage Paper 29*, pp.16-31, FAO, 1989.
- 8) 舟川晋也、小崎隆、鈴木玲治、石田紀郎：カザフスタン大規模灌漑農業における土壤塩性化の実体（投稿中）。
- 9) Ogar, N.P.: Seasonal and many years variability of meadow associations, *The dynamics of flood-lands vegetation of the Chu and Ili rivers. "Nauka"*, Alma-Ata, pp.85-113, 1985. (Russian)
- 10) Plisak, R.P. and Ogar, N.P.: *The influence of water reservoirs on vegetation in arid zones*. Nauka, Alma-Ata, pp.186, 1991. (Russian)
- 11) Strateener, G., Yaron, D., Bresler, E. and Shimshi, D.: Simulation Model for Evapotranspiration of Wheat: Effect of Evaporative Conditions, *J. Irrig. Drain. Div. ASCE*, vol.101, No.1R1, Proc. Paper 11169, pp.13-19, March 1975.
- 12) 楠美順理：灌漑農業における塩類集積防止のための経済分析－イスラエル、イズリル谷での事例研究－, pp.40-55, 筑波大学修士論文, 1995.
- 13) FAO Crop Water Requirements, *Irrigation and Drainage Paper 24*, pp.1-2, FAO, 1989.
- 14) Stewart, J.I., Hagan, R.M., Pruitt, W.O., Hanks, R.J., Riley, J.P., Danielson, R.E., Franklin, W.T. and Jackson, E.B.: *Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil*, Utah Water Res. Lab. Publ. PRWG151-1., 1977.
- 15) 舟川晋也、Elmira Karbozova、鈴木玲治、小崎隆：イリ川及びシルダリア川水系区における土壤塩性化の実体と機構、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—1994 年度調査報告—、日本カザフ研究会、pp.13-25、1995。

(1996. 12. 6 受付)

## COST-BENEFIT ANALYSIS OF INTERTEMPORAL AND INTERSPATIAL SELECTION OF IRRIGATION PRACTICES ABATING SALINIZATION IN ILLI RIVER BASIN, KAZAKHSTAN

Ariyoshi KUSUMI and Tohru MORIOKA

Aiming at an evaluation of intertemporal and interspatial transitions of the salinization problem, five different irrigation strategies at the Ili river basin in Kazakhstan are planned. Net future benefit produced by each alternative is estimated and is compared to the others by computer simulation. The simulation is composed of a gross-agricultural-profit-estimation module, a salinity-damage-estimation module, and a net-future-benefit-estimation module. As a conclusion, it is shown that the down stream transition of salinization is not desirable. Demonstrating intertemporal transition, the model is also designed to show quantitative trends of the net present value as a function of the social time preference and the evaluation period.