



|              |                                                                                 |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | 乾燥地農業での塩類集積防止に関する意思決定のための費用便益評価-特定圃場とその下流域における灌概農業の持続可能性の考察-                    |
| Author(s)    | 楠美, 順理                                                                          |
| Citation     | 大阪大学, 1998, 博士論文                                                                |
| Version Type | VoR                                                                             |
| URL          | <a href="https://doi.org/10.11501/3151057">https://doi.org/10.11501/3151057</a> |
| rights       |                                                                                 |
| Note         |                                                                                 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

乾燥地農業での塩類集積防止に関する  
意思決定のための費用便益評価  
-特定圃場とその下流域における  
灌漑農業の持続可能性の考察-

1998 年

楠美 順理

## 目 次

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 第1章 序論 .....                                                | 1  |
| 第1節 研究の背景 .....                                             | 1  |
| 第2節 研究の目的 .....                                             | 2  |
| 第3節 論文の構成 .....                                             | 3  |
| 【参考文献】 .....                                                | 5  |
| 第2章 人口および食糧供給からみた沙漠化問題と塩類集積問題 .....                         | 6  |
| 第1節 人口問題と食糧問題の概観 .....                                      | 6  |
| 第2節 沙漠化問題の概観 .....                                          | 8  |
| 第3節 塩類集積発生のメカニズム .....                                      | 10 |
| 第4節 塩類集積発生の背景とそれに対する対応 .....                                | 11 |
| 【参考文献】 .....                                                | 12 |
| 第3章 ウォーターロギング発生機構の再現のための水分収支<br>シミュレーションモデルの構築 .....        | 14 |
| 第1節 本章の目的 .....                                             | 14 |
| 第2節 水分収支モデルの構造 .....                                        | 14 |
| 第1項 水分収支モデルの概観 .....                                        | 14 |
| 第2項 水分収支計算の枠組み .....                                        | 17 |
| 第3項 作物栽培期モジュール .....                                        | 17 |
| 第4項 休閑期モジュール .....                                          | 20 |
| 第5項 排水モジュール .....                                           | 21 |
| 第6項 ドライビングモジュール .....                                       | 21 |
| 第3節 水分収支モデルの精度と性能 .....                                     | 22 |
| 第1項 水分収支モデルの精度 .....                                        | 22 |
| 第2項 水分収支モデルの性能 .....                                        | 23 |
| 第4節 本章の結論 .....                                             | 25 |
| 【参考文献】 .....                                                | 26 |
| 第4章 圃場内塩類集積防止のための望ましい灌漑水量の評価<br>－イスラエルのイズリル谷における事例研究－ ..... | 28 |
| 第1節 本章の目的と背景 .....                                          | 28 |
| 第2節 塩分収支モデルの構築 .....                                        | 29 |
| 第1項 塩分収支モデルの概観 .....                                        | 29 |

|     |                                                                      |    |
|-----|----------------------------------------------------------------------|----|
| 第2項 | 水分・塩分収支計算の枠組み                                                        | 32 |
| 第3項 | 作物栽培期モジュール                                                           | 32 |
| 第4項 | 休閑期モジュール                                                             | 33 |
| 第5項 | 排水モジュール                                                              | 34 |
| 第6項 | ドライビングモジュール                                                          | 34 |
| 第3節 | 塩分収支モデルの精度                                                           | 34 |
| 第4節 | 利用灌漑水量に応じた代替案の立案                                                     | 35 |
| 第5節 | 塩分収支モデルの構築と適用による灌漑戦略の考察                                              | 38 |
| 第1項 | 塩分収支モデルの構築による帰結                                                      | 38 |
| 第2項 | 操作変数の操作による各代替案の優劣比較                                                  | 40 |
| 第6節 | 本章の結論                                                                | 45 |
|     | 【参考文献】                                                               | 46 |
| 第5章 | 持続的環境利用目的の意思決定のための枠組みの考察                                             | 47 |
| 第1節 | 本章の目的                                                                | 47 |
| 第2節 | 経済的効率性                                                               | 48 |
| 第3節 | 公平性,あるいは公正さ                                                          | 51 |
| 第1項 | 衡平性と公正さの定義                                                           | 51 |
| 第2項 | 望ましい公正さの検討                                                           | 54 |
| 第4節 | 異時点間にわたる公正さと持続的環境利用                                                  | 56 |
| 第5節 | 費用便益分析手法                                                             | 58 |
| 第1項 | 持続的環境利用を目的とした費用便益分析の枠組みの考察                                           | 58 |
| 第2項 | 公正な効用分配における制約条件                                                      | 63 |
| 第3項 | 割引率の取り扱い                                                             | 64 |
| 第4項 | 不確実性の取り扱い                                                            | 67 |
| 第6節 | 本章の結論                                                                | 68 |
|     | 【参考文献】                                                               | 70 |
| 第6章 | 流域内塩類集積に関する異時点間・上下流間コンフリクトを<br>対象とした費用便益評価ーカザフスタンのイリ川流域における<br>事例研究ー | 72 |
| 第1節 | 本章の目的と背景                                                             | 72 |
| 第2節 | 代替案の立案と評価方法                                                          | 73 |
| 第1項 | 経済的・倫理的評価枠組み                                                         | 73 |
| 第2項 | 評価方針                                                                 | 74 |
| 第3項 | 粗農業収益の計量                                                             | 79 |

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 第4項 外部不経済の計量 .....                | 80 |
| 第5項 将来純便益の計量 .....                | 83 |
| 第3節 シミュレーションの結果と感度分析 .....        | 84 |
| 第1項 標準設定による結果 .....               | 84 |
| 第2項 感度分析 .....                    | 86 |
| 第4節 上流・下流間での塩類集積問題の移転に関する考察 ..... | 88 |
| 第5節 本章の結論 .....                   | 89 |
| 【参考文献】 .....                      | 90 |
| 第7章 本論文の結論と今後の課題 .....            | 92 |
| 謝辞 .....                          | 98 |

## 第1章 序論

### 第1節 研究の背景

環境問題が世の注目を集めるようになって久しい。70年代までは、水俣病、イタイイタイ病を代表とするような公害問題が代表的であったのに対し、80年代に入ってから、地球温暖化、酸性雨や沙漠化といった、地球規模環境問題がむしろ注目されるようになってきた。最近では、あらゆる「環境」全般に関する「環境問題」が氾濫している。むしろ、環境問題は明確に定義されるものではない。研究者ごとに様々な定義があるが、著者は「便益を得るための人間活動により環境資源が劣化し、伴って人間が負の便益を被ること」と捉える。この意味では、環境問題は古来存在しているが、昨今環境問題が特に着目を集めているのは、程度が甚だしくなり保全の必要性が強くなってきたため、つまり環境利用と環境保全の間でのコンフリクトが無視できなくなってきたためであると捉える。

70年代までの公害問題では、

- \* 問題が地域的
- \* 原因の特定が容易
- \* 加害者と被害者の識別が容易
- \* 解決策の策定自体は容易
- \* 公平性概念が不明

等の特徴を持っていた。これに対し、80年代以降の環境問題では、相対的に

- \* 問題が地球規模、（ないし広領域にわたる）
- \* 伴って、多国間にわたる意思決定機構の未成熟さが露呈
- \* 問題が複合的であり、原因の特定がより困難
- \* 加害者と被害者の識別が困難
- \* 技術的解決策がしばしば不明
- \* 将来にわたる公平性概念が不明
- \* より多くの局面で、不確実性を伴う

等、問題の物理的性質、時間、空間、社会構造・制度にわたって、問題の特徴が極めて異なっている<sup>1, 2, 3)</sup>。前者の問題では、被害者・加害者間で、合理的、かつ民主的な話し合いがなされれば、原理的に解決可能な場合が相対的には多く見られた。一方、後者の問題では、世代間の公平性問題に代表されるように、原理的にすら我々の向かうべき方向性がしばしば見えない。これに対し「持続可能な開発」というスローガンが頻繁に謳われ、具体的な方向性が検討されたが<sup>4, 5)</sup>、未だ十分な具体像が見いだされていないのが実状である。

そこで、環境問題一般に観測された共通の性格を有する典型例の一つとして、本書では沙漠化、塩類集積問題を取りあげ、検討する。第2章に記すように、沙漠化問題の形態・原因はそれぞれ多岐にわたるが、特に「貨幣タームでの便益獲得のためのより多く

の土地のより集約的利用が、環境容量を超え、結果として持続的農業生産を阻害している、塩類集積、沙漠化問題」に着目する。これは、沙漠化防止が、森林保全、水産資源保全に類似し、将来の食糧と人口に関係し、

- \*再生利用可能資源を利用し、
- \*人類の生存に不可避な最低限の生業を支える、
- \*超長期的持続性が要請される、

問題である、という観点からである。困難な問題に対処する常道として一例に集中した検討を行い、将来的に他の環境問題への演繹を目指す。「持続可能な開発」の概念一般を具体化する布石となることを願っての研究の着手である。

持続可能な開発、もしくは持続可能な環境利用を検討するにあたっては、環境利用の物理的制約条件を整理するとともに、環境を利用する、もしくはしないことの我々にとっての効果を整理・評価する必要がある。これらの効果のうち、その経済効果は経済学でいう費用・便益と捉えられる。そして、費用便益分析による評価は、経済効果の評価には有力である。本論では、対象とする環境利用に関連する全ての効果を原理的に扱える手法が望まれるため、費用便益分析に基礎をおき、同手法の適用、および拡張可能性を検討する。環境利用の全ての効果が費用・便益として認識、計測可能であるかどうかは不明である。従って、従来の定式化された費用便益分析ではなく、細部にわたる各評価項目の徹底した検討を通した費用便益分析手法の再検討と、意思決定における費用便益分析手法の理論的課題の検討を試みる。

まず、自然科学的評価及び社会科学的评价、及び論理的考察により、問題解決のための対策として、不適当な対策、関連事象の判別を行う。その後、公平性、特に将来世代との間の公平性に着目して、具体的政策立案に活用可能な、意思決定に有用でわかりやすい形の情報整理を行う。

すなわち、以上をまとめると、本論文は、開発と保全のコンフリクトを越えた妥協点はどこにあるか、持続的環境利用というのはどのようなものか、という問いに対し、沙漠化問題という例によって具体性を与えた上で、原理的に目指すべき方向性を明らかにしていくものである。経済評価としては、一般に費用便益分析に分類される分析を用い、倫理的には特に公平性、もしくは公正さに着目し、意思決定のための情報整理をすることを、基本とする。

## 第2節 研究の目的

前節で論じた、農業開発も土壌の保全も必要性が高く、いずれの要求をも満たす本質的な技術的対策が、その効果を含めて明らかになっていない塩類集積問題に関し、物理的な不確実性を整理し、確実な知見に基づいて望ましい対策を検討することを、本論文の基本的目的とする。具体的には、まず、考えられる灌漑形態中、どのような灌漑農業形態が他より優越するか、定性的・かつ定量的評価を行う。その上で物理的な不確実性を整理し、確実な知見に基づいた望ましい対策の検討を可能にする。更に、フィールド

や、フィールドにおける物理的系設定を複数想定した上で、それぞれについて将来純便益を評価する。そして、経済的・倫理的に、現段階での理論研究からどのような判定がふさわしいかについて、情報整理を行う。最終的に、塩類集積対策、ひいては環境利用の持続性に関し、社会的意思決定に必要な情報整理を行う。

### 第3節 論文の構成

以上を目的に、本論文は図 1-1 に示す様に構成される。第2章では、食糧問題、沙漠化問題、塩類集積について、その現状、背景、問題構造を概観し、本研究が対象とする問題を特定する。第3章以下では、事例としてより問題が深刻で、より物理的な不確実性の高いものを、扱う物理的事象、空間的範囲を拡大しながら順に選択する。対応して問題構造をより明確化し、問題の物理的側面についてはより抽象化をし、評価としては経済的・倫理的側面をより緻密化する。第3章では、塩類集積対策の研究実績の多いイスラエルの実験圃場ギラットを圃場を選び、圃場内での水分収支シミュレーションモデルを構築し、灌漑農業における将来純便益の予測を可能にする。第4章では、イスラエル内で塩類集積の顕著なイズリル谷を圃場として選び、第3章のモデルを拡張し、塩分収支シミュレーションを含め、比較的単純な費用効果分析により、同圃場による望ましい灌漑形態を検討する。第5章では、費用便益・効果分析による意思決定枠組みとしての経済、倫理両面からの理論背景を検討し、持続的環境利用目的の評価において同分析が可能とすることとその限界を整理する。第6章では、世界的に問題の顕著な中央アジアのアラル海周辺域をフィールドとして選ぶ。第3章、第4章のシミュレーションモデルを単純化した上で、対象に圃場外の下流域を加え、第5章に基づいて意思決定枠組みに関する経済、倫理両面からの理論背景を補強した上で、より拡張した費用便益分析を行い、同フィールドにおける望ましい灌漑形態を検討する。そして、第7章では、本論文の結論、成果、今後の課題を整理する。

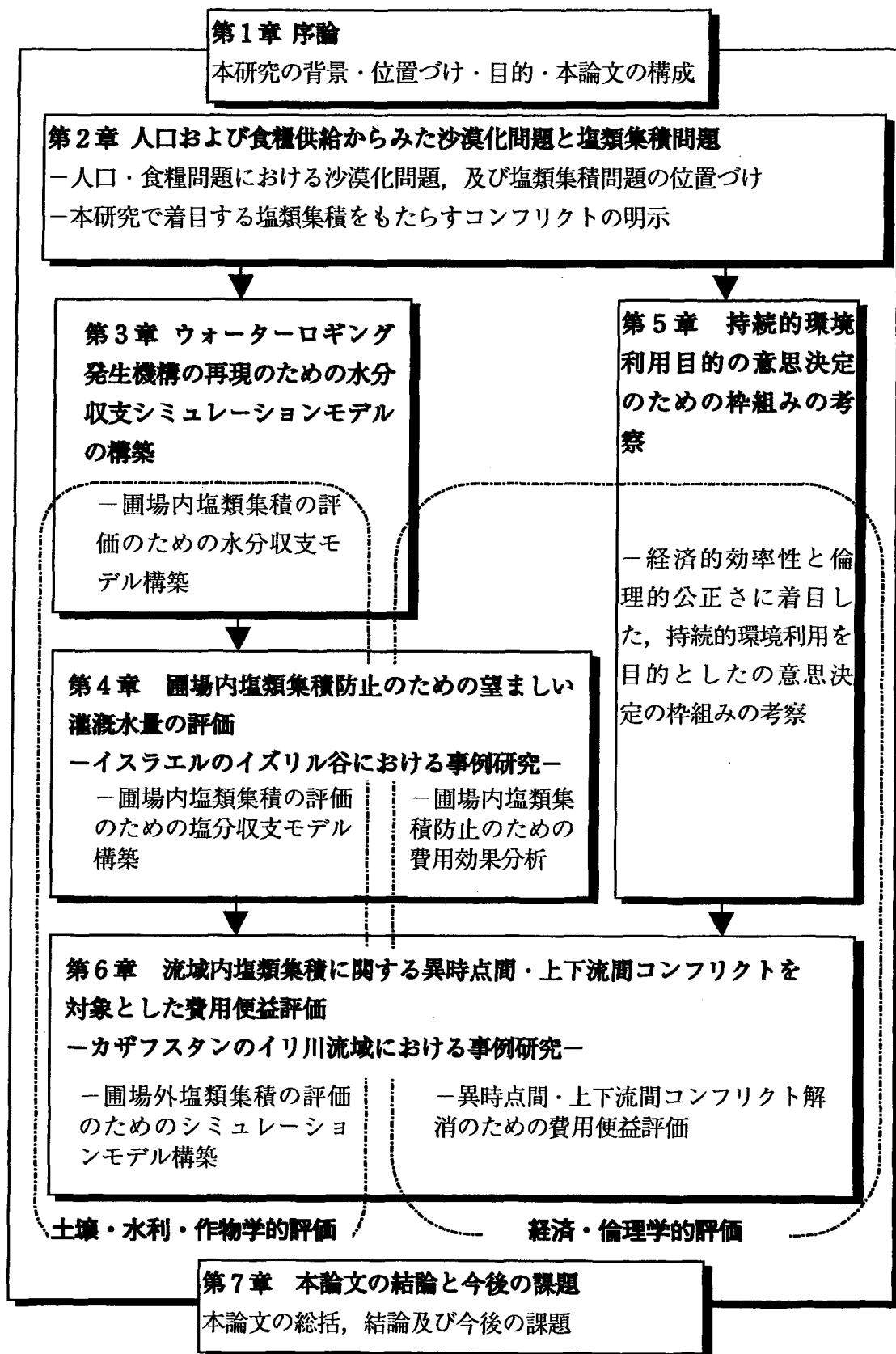


図 1-1：本論文の構成

【参考文献】

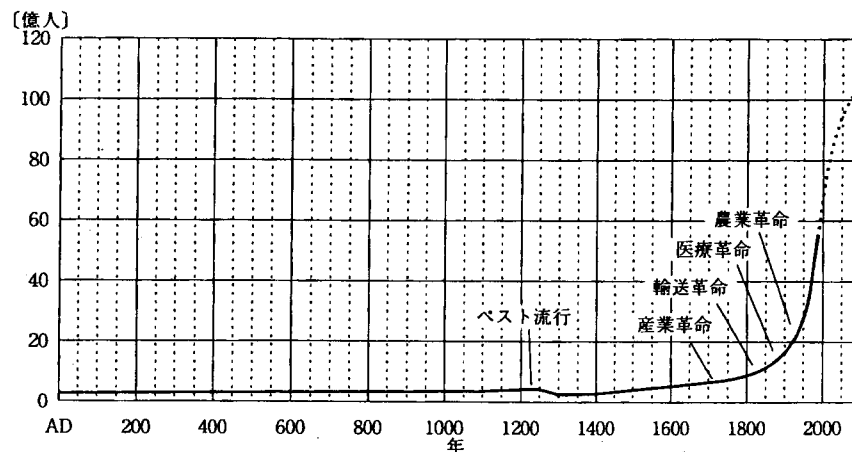
- 1) 河村武 岩城英夫編 (1988) 環境科学 I, 朝倉書店, pp.3-5
- 2) 大来佐武郎監 (1990a) 地球規模の環境問題 I, 中央法規, pp.21-29
- 3) 大来佐武郎監 (1990b) 地球環境と経済, 中央法規, pp.4-10
- 4) 大来佐武郎監 (1990a) 前掲書, 中央法規, pp.31-32
- 5) 世界資源研究所 (1992) 世界の資源と環境 1992-3, ダイヤモンド社, pp.3-14

## 第2章 人口および食糧供給からみた沙漠化問題と塩類集積問題

### 第1節 人口問題と食糧問題の概観

ローマクラブが成長の限界<sup>1)</sup>を報告して以来、約30年が経過した。同報告はあまりに悲観的であるとする批判もあるが、幾何級数的成長の限界がいつやってくるのかはさておき、人口が増加し続けていること、及び食糧生産が限界に近づいていること、少なくとも革命的な増産の可能性が低いこと、等の問題は既に広く一般に認識され、合意されている問題である。つまり、ローマクラブの主張していた人口と食糧に関する本質的問題は、遅かれ速かれ、いつかはやってくるものである。以下では、人口問題、食糧問題、それらに関連する水利用政策と沙漠化問題について概観する。

世界人口は19世紀はじめには10億人に満たない数字であった。それ以降、輸送、医療、農業に関する様々な技術革新を経ることにより、人間の生存のための基本条件が改善され、19世紀初頭からいわゆる人口爆発が始まった。以来、現在は50億を越え、60億に届くのは時間の問題である。これら人口の変動と趨勢を図2-1に示す<sup>2)</sup>。

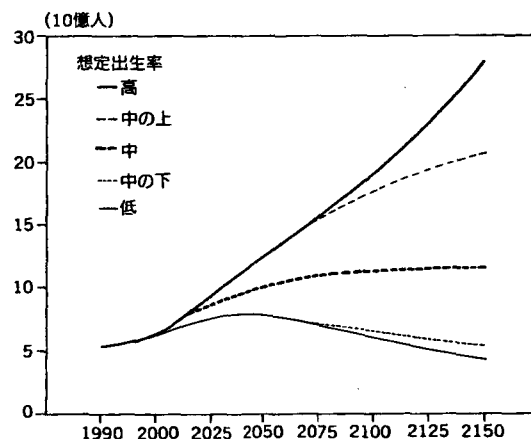


注) 地球環境データブック編集委員会 編 (1993) ひと目でわかる地球環境データブックオーム社より引用

図 2-1：世界人口の長期的な変化と見通し

レスター・R・ブラウンによると、人口についての課題は、人口学的遷移[死亡率も出生率も高い状態から、死亡率の低下を経て、両者とも低い水準にいたる遷移]を完結させ、持続可能な社会の主要な条件である出生率と死亡率のあいだのバランスを再び確立することにある。この意味で、人口がゼロ%前後でゆるやかに変動するなら、その人口は安定しているとみなすことができる。現在、大部分のヨーロッパ諸国と日本を含む30ヶ国で人口が安定しているが、問題は世界人口の残りの86%が存在する国々の人口安定化を達成させることにある。これまで人口の安定化に成功してきた国々のほとんどは人口の安定化を政策目標としてきた訳ではなく、生活水準の向上、女性の雇用機会の拡大等の好条件、不況の結果や旧ソ連におけるチェルノブイリ原発事故等の悪条件等、他の要因の自然な結果としてもたらされた安定であった<sup>3)</sup>。

人口安定化のための政策として中国の一人っ子政策はよく知られているものである。これは、人口安定化のためには確実に効果を挙げているだろうが、現世代の子供を産む権利を阻む弊害に比して、この政策の是非を論じるのは非常に困難である。イランでの子供の数に応じた公的補助金の差別化政策等に関しても同様のことが言え、人口安定化のための政策立案は極めて困難なものである<sup>3)</sup>。しかしながら、図 2-2<sup>4)</sup> に大体のイメージを示すように、将来の世界人口は増え続けることが予測され、しかも、その予測が更新される際にその予測値が大きくなっており、人口安定化に向けた具体的政策は間違いなく必要である。



注) 世界資源研究所 (1992) 世界の資源と環境 1992-3, ダイヤモンド社より引用

図 2-2：世界人口の予測

さて、一方、食糧生産とその供給はどうであろうか。これも、レスター・R・ブラウンによると、最大の問題は以下の二つである。一つは以上で増加することが予測された人口に応じた、増大する世界の食糧供給を如何に満たすかということ、もう一つは、それを、過去数十年間の農業生産の大幅拡大の際に見られたような資源の劣化や過剰消費を行うことなく如何に実現させるか、ということである。緑の革命に代表される過去数十年間の農業生産の大幅拡大の裏には、

- \* 枯渇性地下帯水層内の水利用等の持続不可能な水資源利用
- \* 農業生態系への影響が未解明であり、農業従事者に有害な影響を及ぼしてきた化学農薬への依存
- \* 塩類集積や重機類の使用による土壌の圧密、農薬や化学肥料の過剰投与による汚染、風や水による土壌浸食等の土壌劣化

等の多くの問題があった。現在、都市人口の増加により農地面積が減少していること、単位面積当たりの収穫量の伸びが停滞していること、等をも考えあわせれば、今後の世界的食糧供給に多くの問題が付きまとうことは明白である。つまり、持続可能な食糧生産・農業経営の具体的形態を究めるの研究が強く要請されている。

以上のような背景のもとで、持続可能な農業経営の具体的形態の検討としては、本論

では沙漠化問題・塩類集積問題に限った議論を行う。

## 第2節 沙漠化問題の概観

沙漠化問題の形態・原因はそれぞれ多岐にわたる。狭義の沙漠化は、文字通り土地が砂漠になっていくものをさすが、広義の沙漠化は例えば森林伐採等による森林地の荒廃等の土壌劣化までもを含み、「土地のもつ生物生産力の減退ないし破壊であり、終局的には沙漠のような状態をもたらす現象」と定義<sup>2)</sup>される。なお、以下では「砂漠」は砂丘のイメージにつながる砂のみの沙漠を指すのに対し、岩石沙漠等、土質に関わらず水の極端に不足している土地を示す「沙漠」を、日本沙漠学会の用語法に習って用いる。

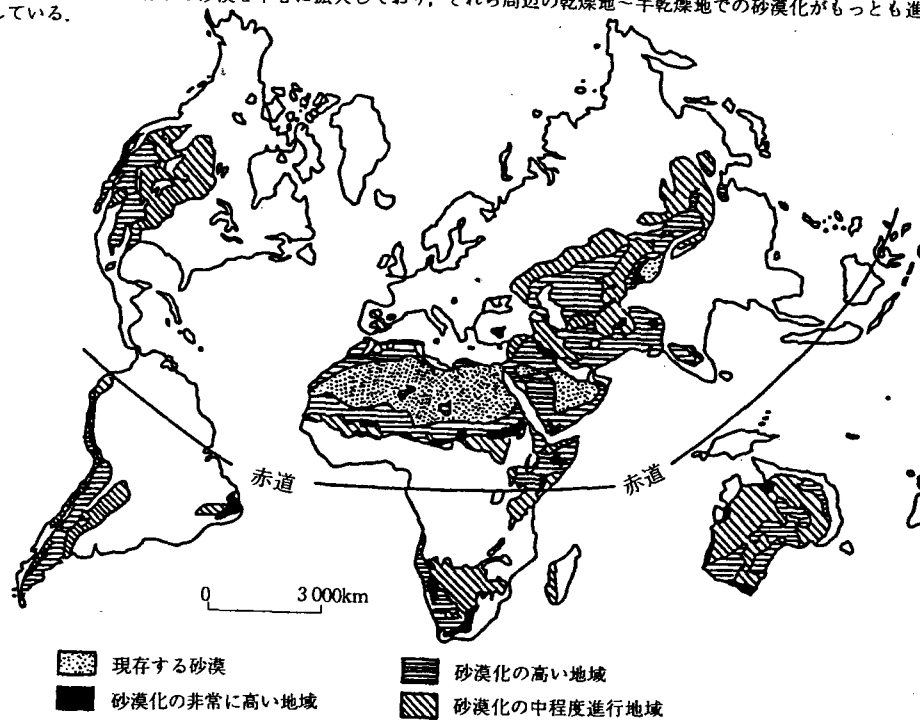
沙漠化の原因としては、自然現象、古来の人間活動、近代以降急激に拡大された人間活動等が挙げられるが、清水によるその分類<sup>5)</sup>を図2-3に引用する。また、その原因を問わず、世界の沙漠化は図2-4のようであると認識されている<sup>2)</sup>。

- 
1. 人口増加と食糧不足
    - 1.1 過放牧  
アフリカのエチオピア、アルジェリア、サヘル8カ国、イラン、イラク、トルコ、サウジアラビアなど中東諸国、インド、ラテンアメリカなど。
    - 1.2 耕地拡大のための森林破壊(焼畑)  
フィリピン、タイ、インド、東南アジアなどのアジア熱帯地域、エチオピア、セネガルなどアフリカの熱帯地域、ブラジル、パラグアイなどのラテンアメリカ。
    - 1.3 乾燥地灌漑農業  
アラビア、イラン、イラク、エジプト、アルジェリア、リビア、ラテンアメリカ、アメリカ、旧ソ連など。
  2. 薪炭の伐採  
スーダン、エチオピアなどのアフリカ諸国、インド、フィリピン、ネパール、ブラジルなど。
  3. 経済的無力
    - 3.1 商業的森林の伐採  
東南アジア、エチオピアなど熱帯アフリカ、ラテンアメリカなど。
    - 3.2 換金作物の単作栽培  
欧州の植民地だったアフリカ諸国、タイなどの発展途上国など。
  4. 植民政策  
アフリカにおける欧州の植民政策による現住民の無理な農業生産。
  5. 工業化、都市化
    - 5.1 発展途上国の工業化、都市化  
スーダンその他アフリカ諸国、アラビアの諸国、メキシコ、ブラジル、ジャワなど。
    - 5.2 地下資源の開発  
アラビア、東南アジア、マレーシア、アメリカ、メキシコ、アンデス山脈。
    - 5.3 観光開発  
チュニジア、エチオピア、ペルー、ネパールなどの発展途上国。
  6. 異常気象  
アフリカのサハラ周辺、中近東、ブラジル北部などの乾燥地域。
  7. 内戦、戦争  
ベトナム、カンボジア、中米のエルサルバドル、アフリカのエチオピア、南アフリカのモザンビーク、イラン、イラク。
- 

注) 以上の原因はそれぞれ単独に作用するより、むしろ一般にはそれらが複合的に絡み合っただけ原因となっている。

図2-3：沙漠化のおもな原因と沙漠化地域

砂漠化地域は現存する砂漠を中心に拡大しており、それら周辺の乾燥地～半乾燥地での砂漠化がもっとも進行している。



注) 地球環境データブック編集委員会 編 (1993) ひと目でわかる地球環境データブック オーム社より引用

図 2-4：世界の沙漠化の状況

図 2-3 の分類では、社会経済的要因と自然要因が混同されているが、1, 3, 5 の多くは、社会経済的コンフリクトを背景にした、理念的にでさえ向かうべき方向の見えない問題で、特に解決が難しい。以下、本研究では、1, 3 の乾燥地灌漑農業と、その典型的な主問題である塩類集積問題に限り、少なくとも、現在考えられる対策のとその効果を検討し、妥協策についての議論を進める。

乾燥地における灌漑農業を背景とした塩類集積問題が特に顕著な例は、アメリカ合衆国のコロラド川流域におけるものと、中央アジアのカザフスタン、ウズベキスタン、キルギスタン、トルクメニスタン、タジキスタンがその集水域を構成するアラル海周辺域におけるもの<sup>6)</sup>が挙げられる。いずれも、大規模な灌漑開発に伴い、コロラド川、アラル海が干上がり、これまで述べてきたような将来の食糧供給問題以前の、生態破壊、周辺住民への健康被害、それに伴う多くの社会経済的諸問題を引き起こしている。特にコロラド川問題に関しては、乾燥地の灌漑農業研究においても先進国であるアメリカ合衆国においてこれまでかなり多くの研究が行われてきているにも関わらず、98 年現在進行中の深刻な問題である。本論の第 3 章、第 4 章では、同じく乾燥地の灌漑農業研究に関して先進国であるイスラエルにおいて、それでも問題解決の困難な圃場を対象とした研究を展開する。アラル海に関しては現状把握すら十分ではないが、例えばアラル海の縮小は依然として進行中で、図 2-5 に示すように、北海道を一回りほど小さくした面積であったアラル海が、今や九州ほどになってしまい、四国分ほどのかつての湖底が新たな

沙漠として現出している程である<sup>7)</sup>。第6章においては、アラル海を有するカザフスタンでの、まだ問題がそれほどまでには甚だしくはないイリ川流域に関する研究を展開する。

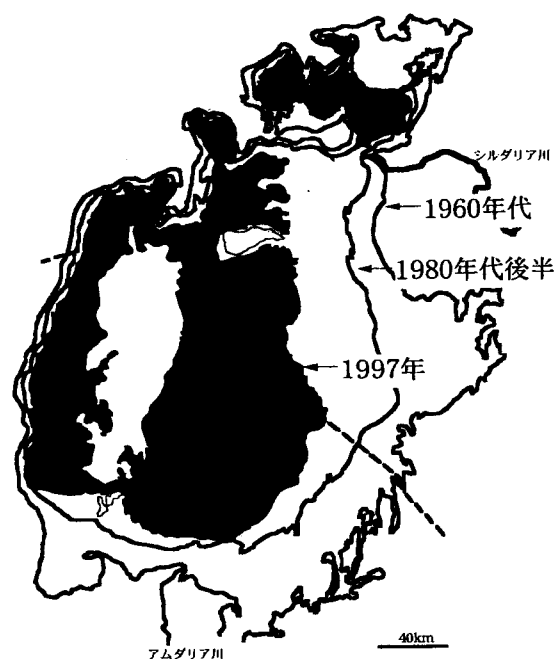


図 2-5：塩類集積の顕著な例としてのアラル海の縮小状況<sup>8)</sup>

地球規模での沙漠化問題全般を念頭におきつつ、以下、本論では上述した幾つかの典型的問題の存する地域における地域的事例研究を行う。

### 第3節 塩類集積発生のメカニズム

第2節で述べた乾燥地の灌漑農業における塩類集積は、巨視的には気候や風土に関する発生要因から、微視的には植物個体の特性や土壌特性に関する発生要因まで、多岐にわたる物理的発生要因を有する。以下では、着目している灌漑農業において、土壌の状態が変化するプロセスに従った塩類集積発生の物理的要因と、その発生機構を整理する。

まず、灌漑水としては純粋を用いることはない。むしろ、技術的に純粋で灌漑を行うことは可能だが、費用面から組成が純水であることはあり得ない。つまり、常に微量塩分を含む。これが地表に到達するとき、純粋な水分は蒸発、下方へ浸透、もしくは植物に取り込まれることによって失われる。水分収支状況によっては、灌漑水に含まれる塩分が地表に取り残され、この様な場合には灌漑開始後の即時的塩害となりうる。これは、水分の蒸発散量の大きいところ、つまり乾燥していて気温の高いところに顕著に観測される。参考までに、日本のような温帯湿潤気候帯に属するところでは、水の供給が豊富で、塩類が地表に残留する前に洗い流され、この種の塩害が生じることはハウス栽培等の例外を除いてはあり得ない。見方を変えると、この種の塩害は、残留する塩分を洗い流せるだけの灌漑水量を確保することによって原理的には容易に解決できる。ただ、一

般に乾燥地においてはそもそも水が不足しているために灌漑が行われるのであり、この解決策は単位面積当たりの水利用量を灌漑に偏らせることなしには選択できない。

仮に、この種の塩害が地表の塩を洗い流すことで解決できたとしよう。この場合、洗い流すことに使った水のかなりの部分は洗い流した塩とともに地中に浸透し、地下水に到達する。これは、即地下水の塩分濃度の上昇につながる。更に、この地下への浸透水の単位時間当たりの浸透量が、水平方向の地下水流の単位時間当たりの移動速度を上回った場合、それにつれて地下水面が上昇していく。地下水面がある程度（土壌、気候条件等によるが大体地下3メートル）以上高くなると、毛管現象により地下水は上昇し地表まで到達する。この一連の地下水面の上昇を *waterlogging* と呼ぶ。普及している適切な日本語訳はないので、本文では単にウォーターロギングと呼ぶ。即時的な塩害同様、ウォーターロギングによって表層に引き寄せられた水分のうちの純粋な水分は蒸発散によって失われるものの、塩分は地表まで水分に伴って上昇した後、表層に残る。更に、このプロセスは地下水面が十分高い限り恒常的に続く。この場合は塩分を下方向に洗い流すことはできず、また、地表面で水平方向に洗い流すことも土壌保全の観点からは考えられない。つまり、この塩害に関しては、地下水面を下げる以外の対策は考えられない。これが解決の困難な、いわゆる灌漑農業による塩類集積であり、本論が対象とするものである。

ウォーターロギングはそれ自体でも植物の根を窒息させたり、根腐れを起こさせたり等の悪影響を作物に与える。一方、塩類集積の主要な悪影響はその濃度に応じて作物成長自体が不可能になることである。また、塩類集積によって土中のナトリウム濃度が増すと、土壌のアルカリ化が進む、土壌の浸透性が低くなる、イオン結合力が増し塩類集積が促進される等の弊害がある<sup>9)</sup>。土中のアルカリ化はほぼ不可逆的であり、これは農地としての土地利用を考える限り、避けなければならない問題である。

ウォーターロギングと塩類集積発生の程度は、表層の温度・湿度等の気候条件、根圏域の土壌の物理化学的性質、灌漑水質、灌漑水量、地下水面の初期深度、地下水系の自然排水機能等に依存する。これら複数の要因が絡まり全体として許容量を越えるときに塩類集積が起こる。

#### 第4節 塩類集積発生の背景とそれに対する対応

第3節で述べた塩類集積発生のメカニズムは既にある程度以上知れわたっているものであるが、メソポタミア文明の崩壊以来<sup>10)</sup>、塩類集積は乾燥地農業の恒常的課題として存在し続けている。これは、単純には技術的に実行可能な対策のほとんどが経済的に実行が望ましくないものであるからである。つまり、背景で灌漑農業の持続と農業収益の追求という、相反する二つの目的が競合しているためである。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。これに対し、直接的な水質改善、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、栽培作物、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案に関して、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、短期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が若干存在する。例えば Knapp<sup>11)</sup> 等、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が挙げられるが、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着目した研究は見あたらない。

これらを受け、本研究では一貫して塩類集積にまつわるこのコンフリクトを対象とし、次章以降で、コンフリクトに対する意思決定のために有用な情報の整理と集約を具体的に試みる。

#### 【参考文献】

- 1) Meadows, D., H., Meadows, D., L., Randers, J., and Behrens, W., W. (1972) THE LIMITS TO GROWTH, A Report for THE CLUB OF ROME'S Project on the Predicament of Mankind, Universe Books, New York (大来佐武郎 監訳 (1972) 成長の限界 ダイヤモンド社)
- 2) 地球環境データブック編集委員会 編 (1993) ひと目でわかる地球環境データブック オーム社
- 3) Lester, R.B., et. al.(1996) State of the World 1996 W. W. Norton & Company, Inc., New York (浜中裕徳 監訳 (1996) 地球白書 1996-97 ダイヤモンド社)
- 4) 世界資源研究所 (1992) 世界の資源と環境 1992-3, ダイヤモンド社
- 5) 清水正元 (1987) 世界の砂漠化とその防止対策(1), 化学と生物, 25(7), pp.473-479
- 6) 福嶋義宏 監修 (1995) 地球水環境と国際紛争の光と影 -カスピ海・アラル海・死海と 21 世紀の中央アジア・ユーラシア- 信山社
- 7) 日本カザフ研究会 (1997) 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-1996 年度調査報告-
- 8) 日本カザフ研究会 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-1997 年度調査報告- (出版準備中)
- 9) Shanani, L. (1987) The Impact of Irrigation, in Land Transformation in Agriculture, Chap.5. I, Wolman, M.G., Fournier, F. G. A., Eds., John Wilen, pp.115-131
- 10) 前川和也 (1990) 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
- 11) Knapp, K.C. (1991) 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**

### 第3章 ウォーターロギング発生機構の再現のための水分収支シミュレーションモデルの構築

#### 第1節 本章の目的

本章では、第2章第4節で触れたコンフリクト、つまり、灌漑農業の持続と農業収益の追求という共存しづらい二つの目的の競合に着目し、まずはその定量的評価を行うことを目的とする。具体的には、この背景にある二つの目的の達成によって得られる便益、及びそれに伴って生じる外部費用を含む費用、を定量化し、その純便益を計量することを目的とする。計量は、灌漑農業による収量予測と、伴って発生する塩類集積の発生とを予測するコンピュータシミュレーションモデルの構築による。

このシミュレーションモデルは、第4章、第6章以降でも用い、評価の中核を占めるものである。第4章以降では、シミュレーションモデルを随時修正するため、第3章において構築するものを水分収支モデルと呼ぶ。水分収支モデルは、データの比較的揃っていたイスラエル中部に位置する実験圃場ギラット； Gilat(34° 38'E, 31° 20'N)に基づいて構築した。

水分収支モデルに限らず、本論文で構築するモデルに類似し、上述の二つの競合した目的を扱うことのできるモデルはあまり見あたらない。著者の探した範囲では Letey<sup>1)</sup> は、若干の修正と共にこの二つの競合した目的を扱うことができる。但し、詳細設定の不明な Letey モデルを再構築し、本論の目的に適合するよう修正することが困難であったため、このモデルは採用せず、本章で示す水分収支モデル、以下のモデルを構築した。

#### 第2節 水分収支モデルの構造<sup>2)</sup>

##### 第1項 水分収支モデルの概観

モデルは図 3-1 に示すように、ドライビングモジュール、二つの作物栽培期モジュール、排水モジュール、4つの休閑期モジュールからなる。栽培作物としては、冬小麦と綿のみによる一年一作の形態を仮定する。図 3-2 は、暦上11月1日から始まるように定義された綿栽培年(C)と冬小麦栽培年(W)を示す。図 3-2 が示す C と W 内の期間、いずれも作物栽培期モジュールと休閑期モジュールによってシミュレーションされる。長期シミュレーションは、C と W の長期間にわたる配列である、作物年配列(CYS)に従って行われる。排水モジュールは、地下水面の深さに従い排水施設を導入する役割を持つ。ドライビングモジュールは、他の全てのモジュールを結合する役割を持つ。全体を通しての主要操作変数は灌漑水量(Q)と作物年配列(CYS)である。一方、最終的な評価対象の変数は、長期的便益の純現在価値(NPV)と根圏域以下への浸透水分量(DP)である。これらは、表 3-1 に示した全ての外生変数及び操作変数の値に応じて求められる。また、これら主要変数間の関係は図 3-3 に示した。なお、これらの記号は、自明な添え字の省略・付加を除き、本論では一貫した定義を用いている。

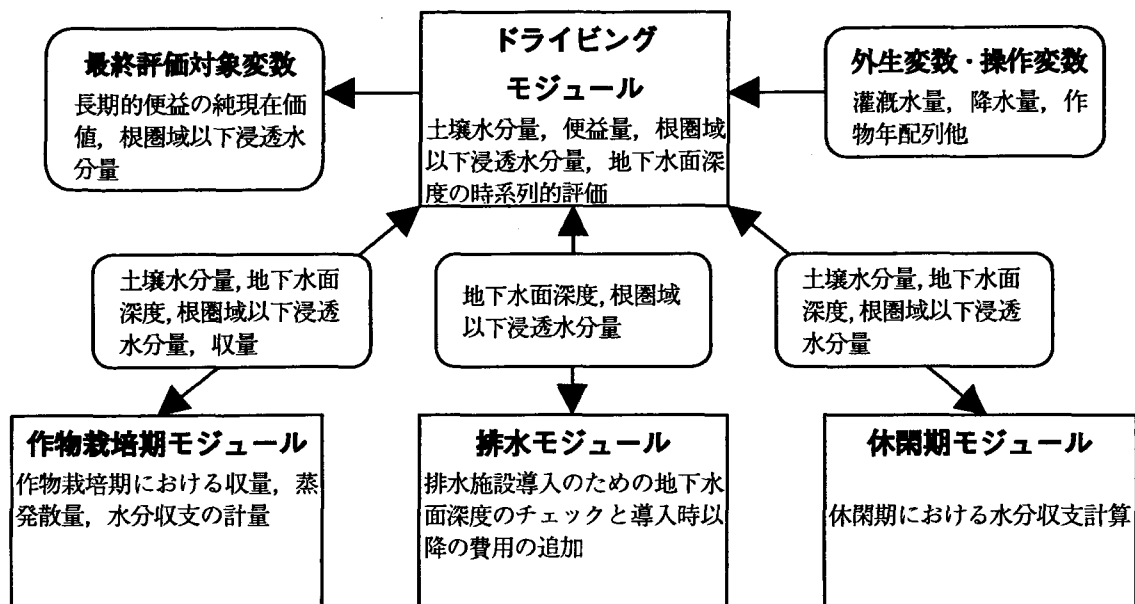


図 3-1：水分収支モデルの構造と各モジュールの相互関係

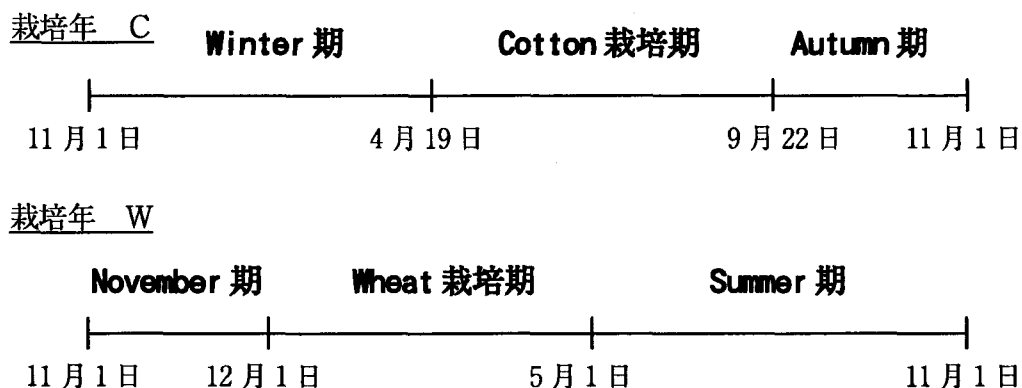


図 3-2：水分収支モデルにおける綿と冬小麦それぞれの作物栽培年の定義

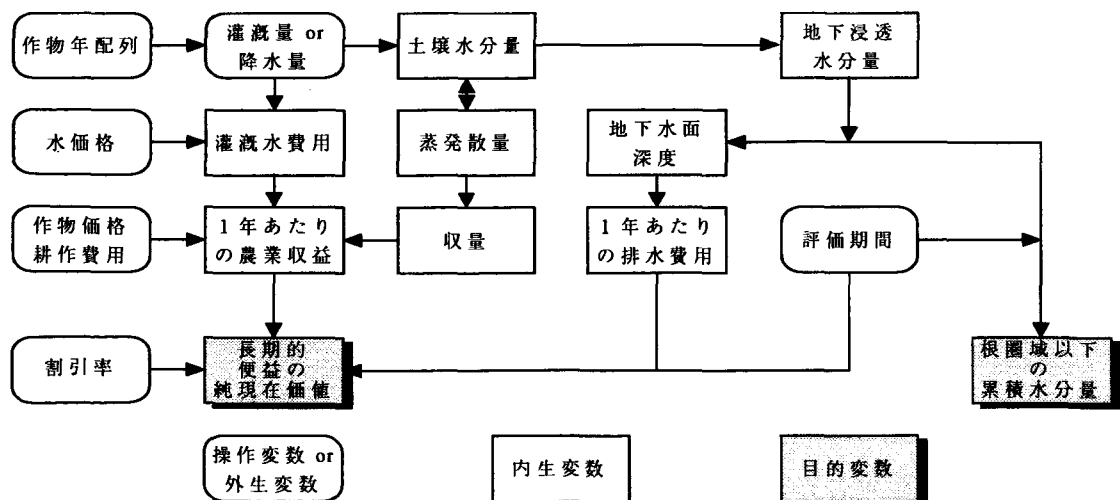


図 3-3：水分収支モデルの構造と主要変数の関係

表 3-1：水分収支モデルにおける主要変数の定義とそれらの標準値

| 外生変数              |                                                                                                                                                            |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| m~mb              | 作物栽培期の期間.                                                                                                                                                  |
| at                | 栽培期間の日最大蒸発散量[mm]. イスラエル気象庁内部資料より引用.                                                                                                                        |
| i                 | 1層 30cm の4層に分割した根圏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数.                                                                                                                                              |
| $\theta_{in}$     | 土層ごとの栽培開始時の初期土壌水分量. (0 15 20 20) [% of TASM]                                                                                                               |
| $\theta_{sum}$    | 土層ごとに想定された summer 期末日の土壌水分量. (0 7 15 20) [% of TASM]                                                                                                       |
| $\theta_{aut}$    | 土層ごとに想定された autumn 期末日の土壌水分量. (0 10 20 25) [% of TASM]                                                                                                      |
| WT <sub>in</sub>  | 初年の栽培開始時の地下水面深度. 2000[mm]                                                                                                                                  |
| kc                | 作物成長期ごとの作物係数. 綿に関し, (Apr. May Jun. Jul. Aug. Sep) = (0.00 0.30 0.35 0.78 0.60 0.30)                                                                        |
| RAIN              | 降水量[mm]. イスラエル気象庁内部資料より 22 年にわたる 10 日ごとのデータを引用.                                                                                                            |
| FC                | 1層 30cm の4層に分割した根圏域の圃場容量[mm/30cm]. 実測値より 74.1[mm].                                                                                                         |
| PWP               | 1層 30cm の4層に分割した根圏域の永久しおれ点[mm/30cm]. 実測値より 30.0[mm].                                                                                                       |
| TASM              | 土層ごとの土壌の可能含有水分量の幅 (Total available soil moisture) [mm/30cm]. FC より pwp を減じたもので 44.1[mm]                                                                    |
| k                 | 5 つに分けた作物成長期を特定する指標. k = 1~5. それぞれの末日は May 16 <sup>th</sup> , June 11 <sup>th</sup> , July 2 <sup>nd</sup> , 23 <sup>rd</sup> , and Sept. 21 <sup>st</sup> |
| P <sub>CR</sub>   | 作物価格. 綿は 1.62 [NIS/kg] <sup>3)</sup> . 冬小麦は 0.54 [NIS/kg] <sup>3)</sup> .                                                                                  |
| w                 | 単位あたりの水価格. 0.45 [NIS/kg] <sup>3)</sup> .                                                                                                                   |
| RCC <sub>CR</sub> | 1年あたりの作物栽培費用. 綿は 400 [NIS/0.1ha] <sup>3)</sup> . 冬小麦は 150 [NIS/0.1ha] <sup>3)</sup> .                                                                      |
| 操作変数              |                                                                                                                                                            |
| Q                 | 栽培開始時と栽培中の3回の総灌漑水量[mm].                                                                                                                                    |
| I <sub>ET</sub>   | 日蒸発散量決定指数. 綿に関し, 標準設定値として 0.35.                                                                                                                            |
| CYS               | 作物年配列.                                                                                                                                                     |
| r                 | 割引率. 標準設定値として 10%.                                                                                                                                         |
| T                 | 評価期間. 標準設定値として 48[年間].                                                                                                                                     |
| 内生変数及び最終評価対象変数    |                                                                                                                                                            |
| ET                | 一日の蒸発散量[mm/0.1ha].                                                                                                                                         |
| $\theta$          | 1層 30cm の4層に分割した根圏域の各層の土壌水分量 [mm/30cm]                                                                                                                     |
| td                | 栽培期間の時間[日].                                                                                                                                                |
| a, b              | 式(3-2)中の蒸発散推定のための未定係数.                                                                                                                                     |
| f                 | 理想的蒸発散量[mm]. at に kc を乗じて得る.                                                                                                                               |
| x(k)              | 綿栽培における各作物成長期ごとの危険日日数[day].                                                                                                                                |
| NC                | 冬小麦の収量予測に用いる非危険日の日数[day]. 考察対象土壌水分量が危険レベルを下回った日数.                                                                                                          |
| G                 | 種まき後発芽までの日数[day].                                                                                                                                          |
| Y <sub>C</sub>    | 綿の収量[Kg/0.1ha].                                                                                                                                            |
| Y <sub>w</sub>    | 冬小麦の収量[Kg/0.1ha].                                                                                                                                          |
| SB <sub>C</sub>   | 綿栽培から得られる一年あたりの便益[NIS/0.1ha].                                                                                                                              |
| SB <sub>w</sub>   | 冬小麦栽培から得られる一年あたりの便益[NIS/0.1ha].                                                                                                                            |
| SB                | 作物栽培と排水施設関連双方による一年あたりの便益[NIS/0.1ha].                                                                                                                       |
| t                 | 時間[year]                                                                                                                                                   |
| WT                | 地下水面深度[mm].                                                                                                                                                |
| DP                | 根圏域以下への地下浸透水分量[mm].                                                                                                                                        |
| NPV               | 単位圃場面積当たりの将来純便益の現在換算価値[NIS/0.1ha].                                                                                                                         |

注) シミュレーションに使われた全変数の中でも, 本文にて明示的に取り扱われていないものの提示は省略した.

—“NIS” は New Israeli Shekel の短縮形で, 1994 年において 1[NIS]≒35 [yen].

モデルの構築にあたっては, 本論では, むしろ物理的発生過程は単純化し, 条件を限った上で不確実性がどこに内在するのかを論じる姿勢をとることとした. まず, アルカリ化は塩類集積のある程度以上の進行後に, それに伴って発生するもので, その可逆性の程度がまだ十分に解明されていないので, 評価対象には含めなかった. また, 考察対象作物も, 現実にはより多くが栽培されているが, 単純化のために, 綿と冬小麦に限定した. 種々の技術革新, 栽培品種の開発, 労働人口や労働生産性の時間変動についても, 単純化のため, 同様に考察対象に含めなかった. その他, 作物品種の特定等, 以下で具

体的に論じないものは、条件を特定していない。

## 第2項 水分収支計算の枠組み

水分収支計算は、現実の圃場を単純化した鉛直一次元方向に限って行う。土層は30cmごとの4層に分けた根圏域と、それ以下の土層、そして地下水層に分割した。表層での水分の地上流失はないものとし、土壌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。根圏域の最下層以下、地下水面までの土壌水分量は圃場容水量にあるものと仮定する。地下水系は、閉鎖系で水平方向の地下水の自然排水量がないもの、と仮定した。従って、地下浸透水分は、全てそのまま地下水面の上昇を招く形でモデル化した。圃場を鉛直一次元方向に限って評価していることに伴い、地下水面深度の初期値は単に2000mmと仮定した。4層に分割した土層内での水分収支式は以下の式に従って計算された。

$$Q_d + \text{RAIN}_d - \text{ET}_d - \text{DP}_d = \theta_{d+1} - \theta_d \quad (3-1)$$

なお、全ての変数の表記とその定義は、表3-1に一括表示した。

以上をまとめると、水分収支計算に採用した仮定群は以下の通りである。

- 一) 鉛直一次元方向のみの水分収支を対象。
- 二) 土層は30cmごとの4層に分けた根圏域と、それ以下の土層、そして地下水層に分割。
- 三) 圃場への水分供給は、降水と灌漑のみによるものを仮定し、表層での水分の地上流失はないものと仮定。
- 四) 土壌水分の損失は、蒸発散によるもの、もしくは下方向への浸透によるものに限定。
- 五) 水分の下方浸透は、圃場容水量を上回った水分が各層間の浸透量としてカスケード状になされるものと仮定。
- 六) 根圏域の最下層以下、地下水面までの土壌水分量は圃場容水量であると仮定。
- 七) 地下水系は閉鎖系で、水平方向の地下水の自然排水量がないものと仮定。
- 八) 地下水面深度の初期値は単に2000mmと仮定。

## 第3項 作物栽培期モジュール

作物栽培期モジュールでは、ドライビングモジュールによって与えられる初期条件に応じて、日々の蒸発散推定と水分収支計算により、日々の土壌水分量と地下水面深度を計算し、それらに従って、各作物の収量を予測する。

土壌への水分のインプットとしての灌漑と降水は、綿栽培期と冬小麦栽培期によって異なり、二つの時期、それぞれの事情を再現するようにモデル化した。夏期であり、イスラエルにおいて乾期である、実験圃場ギラットの綿栽培期においては、過去数十年にわたって降水は観測されていない<sup>4)</sup>。従って、土壌への水分のインプットとしては灌漑のみを扱った。これに対し、冬小麦は灌漑だけではなく、降水をも水供給源として成

長している。従って、冬小麦栽培期においては、土壌への水分のインプットとして、灌漑と降水の両方を扱った。降水は、過去22年の観測データ<sup>4)</sup>から、作物栽培年ごとにその一年分をランダムサンプリングによって採用する形をとった。1年分の降水データは、10日ごとに集計された降水量の、36のデータからなる。灌漑スケジュールは、両方の作物ともに、多くのものが可能である。従って、その回数、日程、各灌漑実施日ごとの灌漑量を操作変数として扱う。但し、本論では総灌漑量のみを灌漑量(Q)として記す。

蒸発散量(ET)は、以下のように土壌水分量の一次関数として仮定することができる<sup>5)</sup>。

$$ET_{ij} = a_{ij} + b_{ij} \theta_{ij} \quad (3-2)$$

土壌水分量以外に実際には蒸発散を規定するであろう要因は、単純化された未定係数aとbに暗示的に含まれて表現される。なお、これら未定係数aとbは月ごとに求める。ETを日にちを表す変数tdの連続関数とみなし、RAINやDPといった時折発生する事象を除いた、土壌水分のtdに関する連続的変動に着目することで、(3-1)式は以下のように書き換えられる。(以下では、簡単化のために添え字iとjを省略して表記する。)

$$ET = \{d\theta/d(td)\} \quad (3-3)$$

(3-2)と(3-3)を連立させ、ETを消去し、積分することで、以下が得られる。

$$\theta(td) = -a/b + (\theta_0 + a/b) \exp(-b \cdot td) \quad (3-4)$$

ここで、初期条件としてtd=0における $\theta$ 、つまり $\theta_0$ の値を以下、(3-10)式までの $I_{ET}$ の導出にあたっては圃場容水量(FC)にあると仮定する。 $\theta(td)$ は曲線として図3-4にあるように描くことができる。

$\theta$ が永久しおれ点(PWP)にある時、植物からの蒸散量はゼロであり、地表面からの蒸発もほぼゼロに近い。この条件を(3-2)に代入することで次式が得られる。

$$a = -b \cdot PWP \quad (3-5)$$

$\theta_0 = FC$ と(3-5)式を(3-4)式に代入することにより、bは以下で与えられる。

$$b = -(1/td) \ln [(\theta - PWP)/(FC - PWP)] \quad (3-6)$$

以下では、未定係数aとbの求め方を示す。まず、その準備として、 $\theta_{dat}$ 直線が図3-4に示してある。この $\theta_{dat}$ 直線は、以下に示すようにtdに関する傾きfの一次関数である。

$$\theta_{dat} = \theta_0 - f \cdot td \quad (3-7)$$

ここで、fは作物の成長に支障のないくらい十分な土壌水分量を与えられた条件下での一日あたりの理想的蒸発散

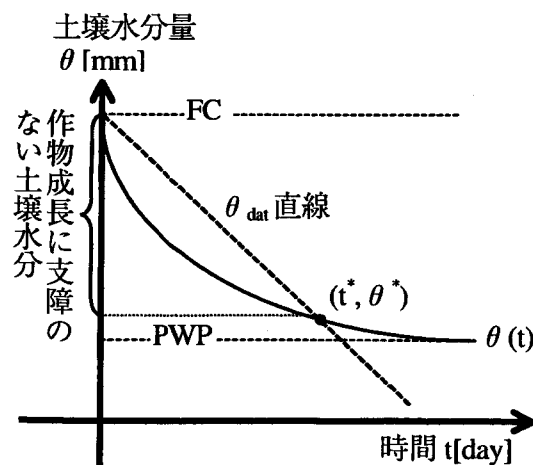


図3-4：気象データに基づく  
日蒸発散量決定指標( $I_{ET}$ )の求め方

量である。f の値は、この地域の当該作物固有の作物係数(kc)<sup>6)</sup>と、イスラエルの気象庁によって観測されている月別の一日平均のクラス A パン蒸発量(at)<sup>4)</sup>との積として求められる。ここで、既述の条件「作物の成長に支障のないくらい十分な土壌水分量」とは定量的に定義されているものではなく、クラス A パン蒸発量の観測や、他での作物係数の計量において、明らかにその条件を満たす状況だけが想定される性質のものである。

未定係数 a と b を求めることは、(3-4)式における未定係数を求めることに相当する。言い換えれば、これは(3-4)における  $\theta$  (td) 曲線の曲率を決定するために、(td,  $\theta$ ) の一つとして、妥当な(td\*,  $\theta^*$ )を与えることに相当する。(3-7)式における f と、その条件としての「作物成長に支障のないくらい十分な土壌水分量」の  $\theta$  の範囲の意味を考慮すれば、

$$\theta \geq \theta^* \quad \text{where Accumulated ET of td*days} = \int_0^{td^*} f \cdot d(td) \quad (3-8)$$

$$\theta < \theta^* \quad \text{where Accumulated ET of td*days} < \int_0^{td^*} f \cdot d(td) \quad (3-9)$$

を満たす  $\theta^*$  が存在するはずである。これは、言い換えれば(td\*,  $\theta^*$ )において  $\theta_{dat}$  直線と  $\theta$  (td) 曲線が交差するということである。よって問題は、 $\theta^*$  を如何に決定するかということに帰着する。 $\theta^*$  は、その決定に便利のように以下の表記法をとっておく。

$$\theta^* = I_{ET}(FC - PWP) + PWP \quad (3-10)$$

この表記が示すように、 $\theta^*$  は FC 以下、「作物成長に支障のないくらい十分な土壌水分量」としての  $\theta$  の範囲で、有効水分 (TASM) に対する比で表現される。

以上、未定係数 a と b の決定は  $I_{ET}$  の決定に帰着する。 $I_{ET}$  の値の決定は、シミュレーションの実施に必要なこととして、以降の節において記述する。

収量予測のために用いられる収量関数というものは、これまで多くの研究者によって様々なものが提案されてきた。これらのうち、本論では蒸発散量、もしくは土壌水分量、もしくはそれらの形を変えたものを変数とする収量関数が望ましいため、以下のものを採用した。綿に関しては、特に同じ圃場ギラットに関する Yaron *et al.*<sup>7)</sup> の以下の関数を採用した。

$$Y_c = 650 \times 0.966^{x(3)} \times 0.980^{x(4)} \times 0.996^{x(5)} \quad (3-11)$$

k は綿の成長状態に応じた各成長期を示す。各期は、それぞれ、establishment period, vegetative period, flowering period, yield formation period と ripening period に相当する<sup>8)</sup>。

各期の末日は、各期の定義と現地の事情を考慮し、5月16日、6月11日、7月2日、23日、及び綿栽培期の末日である9月21日と仮定した<sup>9)</sup>。x(k)はk(k=1,2,...,5)の関数で、各期において土壌水分量が危険レベルを下回った日数を示す。危険レベルは、考察対象土層における TASM の40%水準として、Yaron *et al.*が同論文<sup>7)</sup>で決定しているものである。考察対象土層は蒸散を可能とする根の存在する土層で、後述する根の成長に伴って決定される<sup>9)</sup>。以上、収量は、可能最大収量 650 [kg/0.1ha]を基準に、土壌水分の不

足を意味する  $x(k)$  の値に応じて予測される。

冬小麦に関しては、同じく圃場ギラットに関する Strateener<sup>10)</sup> の以下の関数を採用した。

$$Y_w = 216.16 + 3.38NC - 2.97G \quad (3-12)$$

NC は、土壌水分量が危険レベルという値を下回らなかった非危険日の日数を示す。危険レベルは、考察対象土層における TASM の 40%水準として、Strateener が同論文<sup>10)</sup> で決定しているものである。G は種まきの日から発芽までの日数を示す。ここで、冬小麦は、種まきの日以降の累積降水量が 40mm を越えた日に発芽するものと仮定している。

以下は作物栽培期モジュールでの他の仮定群である。まず、灌漑方法としては、スプリンクラー式灌漑を仮定した。圃場内での灌漑効率、つまり、スプリンクラーによる散布後地表に到達する正味の純灌漑量の、スプリンクラーから散布される総灌漑量に対する比としては、0.8 が仮定された。スプリンクラー式灌漑に関するクリスチャンセンの係数<sup>9)</sup> としては、80%が仮定された。スプリンクラー式灌漑では、スプリンクラー設置点からの水平距離に従って、水分はより損失する。このことは、スプリンクラー設置点におけるクリスチャンセンの係数を 100%、スプリンクラーから最も離れた場所でのクリスチャンセンの係数を 60%と仮定し、その間の同係数の値を一次関数的に単調減少させる形で仮定することで、現実を反映させた。これら両端の2点間を100等分した点における鉛直方向一次元でのシミュレーションを行い、以下ではその平均を持ってシミュレーション結果とする。

4層に分けた土層では、通常、灌漑形式に関わらず、表層から順に4:3:2:1の寄与度で蒸発散するものと仮定されてきた<sup>11)</sup>。これに対し、スプリンクラー式灌漑では水分浸透が他の形式に比べ相対的に速く起こることから、表層からの蒸発散は相対的に少なく、より深い層からの蒸発散はより多い。よって通常の寄与度を修正し、本論では37:29:21:13の比で各層から蒸発散が起こるものを任意にはあるが仮定した。寄与度の設定は、任意にせざるを得ないが、予備的検討により、少なくとも4:3:2:1よりは後述の検証データ<sup>12)</sup> に比し整合性が高く、シミュレーション構築に簡便なためにこの値を選択した。

綿の根の成長は、最長の長さとして仮定した120cmまで、一日2cmの速さで成長するものと仮定した。従って既述の、収量予測に関する危険日の判定や蒸発散の起こる「考察対象土層」は、月ごとに根の発達具合に応じて選択した。後述するように、冬小麦に関しては  $I_{ET}$  の設定ではなく未定係数  $a$  と  $b$  自体の直接の引用が他の研究<sup>5)</sup> から可能なので、根の成長自体に関する仮定は不必要であり、考察対象土層の選択自体も同論文から引用した。

#### 第4項 休閑期モジュール

休閑期モジュールは、図3-2に示されるように4つあり、それぞれ、その前と後の期間をつなぎ、土壌水分量変化を年を通して評価する役割を担う。

Summer モジュールと Autumn モジュールでは、各休閑期の末日における土壌水分量は、

その初期値に関わらず、一定の値になるように仮定された。これは、これら休閑期におけるこの値の気候が、降水を全く伴わない過去数十年にわたって安定したものであるからである。表 3-1 に示した末日における土壌水分量の値は、このフィールドに詳しい土壌物理学者に従って設定された。

一方、冬季の降水パターン（量、頻度に関する分布）は年によって異なる。よって winter モジュールでは、裸値からの蒸発量については、現地の灌漑技術者によって長年指導・利用されてきた仮定を採用する。それは、降水のない乾いた日には4つに分けた土層の表層だけから 1.0mm の蒸発、降水のある湿った日には蒸発がない、というものである。この仮定を含め、作物栽培期モジュールと同様の水分収支計算を 10 日ごとに行った。また、November モジュールでは、同じ水分収支計算をその期間 1 ヶ月にわたって一度だけ行った。両モジュールともに、降水パターンの選択は、作物栽培期モジュールと同様の既述の方法で行った。

#### 第5項 排水モジュール

排水モジュールでは、状況に応じた排水システムの導入と、それに伴う費用の計上を扱う。このモジュールでは、図 3-2 に示した作物栽培年の末日に、地下水面が 1400 mm より浅いかどうかを毎年確認する。仮に、地下水面が 1400 mm より浅かった場合、暗渠排水が導入され、伴って地下水面はそれ以降 1400mm に保たれるようにモデル化した。排水施設の導入にあたっては、その年に 713 [NIS/0.1ha] の導入費用がかかるものと設定した。また、排水施設のメンテナンスには、それ以降 20 年間にわたり毎年 7 [NIS/year] , 20 年の経過後は毎年 35 [NIS/year] を評価期間末期までかかるものと設定した。なお、NIS は New Israeli Shekel で、本章で経済指標を規格化している 1994 年において、1NIS=約 35 円である。これら費用の値はイスラエルの農業省<sup>3)</sup>による。なお、排水施設設置深度は、排水管間の地下水面が根圏域を犯さないように、との条件を考慮して設定された。

#### 第6項 ドライビングモジュール

このモジュールは、他のモジュール全てを統合し、各変数の評価期間全体にわたる評価が可能のようにモジュール間での変数のやりとりをつかさどる役割を担う。各変数の評価期間全体における初期条件はこのモジュールに与えられ、その後、作物年配列に従って土壌水分量、地下浸透水分量、地下水面深度等全ての必要な変数が他の下位のモジュールに分配される。更に、下位のモジュールでのシミュレーション後、予測された収量や排水費用等を伴ってこれら変数はドライビングモジュールに返される。

これらのプロセスを通し、まずは年  $t$  における年間あたりの短期的便益 (SB) が求められる。SB は、作物栽培による便益と排水費用からなる。その前者は、作物ごとに以下の経験式で求められる。

$$SB_c = 1.62Y_c - 0.45Q - 400 \quad (3-13)$$

$$SB_w = 0.54Y_w - 0.45Q - 150 \quad (3-14)$$

両式の各係数は、冬小麦では二次的収穫物である藁のものを含めた、各作物の単位重要あたりの価格、単位体積あたりの水価格、収穫や栽培に要する年間固定費用でイスラエルの農業省<sup>3)</sup>に従って求めた。なお、これらの値は、インフレ等を考慮し1994年の値に規格化してある。

t年におけるSBとしてSB<sub>c</sub>、SB<sub>w</sub>、及び年によって不連続に発生する排水費用を統合し、評価期間全体にわたる長期的便益の純現在価値(NPV)を以下に定式化し、これによって求める。

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+r)^t} SB \quad (3-15)$$

割引率を示すrによる将来価値の割り引きについては、その設定根拠に関する論争があり、第5章で詳しく論じる。ここでは従来の方方法に従った割り引きの効果を示すため、イスラエルでの名目利子率に基づいた値によって割り引く。また、灌漑施設利用・維持に必要な一年あたりの費用は、以下で具体的に検討する異なる灌漑戦略間で差を生じるものではないので計上していない。

以上、NPVを求める手続きでは、既述の降水パターンのランダムサンプリングに従う偏りがあるので、全てのプロセスを10回行い、その平均値をもってシミュレーション結果とする。以上により、最終評価対象変数NPVと地下浸透水分量DPが求められる。

### 第3節 水分収支モデルの精度と性能<sup>2)</sup>

#### 第1項 水分収支モデルの精度

前節で示した水分収支モデルは、主に既に確立された方法や仮定を用いて組み立てられている。また、外生変数の全てと操作変数のほとんどは観測、もしくは単純化された現実に基づいて値が設定される性質のものである。つまり、操作変数I<sub>ET</sub>を除いて、その操作に任意性が高く、シミュレーション精度を大きく左右する操作変数はないように、本モデルは構築された。言い換えれば、I<sub>ET</sub>としてもっとも望ましい値をこの水分収支モデルに与えた場合になお得られるエラーは、モデル構築に用いた仮定に依存するものであり、そのエラーは仮定を代える以外の方法では改善されない。

但し、いくつかの変数の値は特定され得ないもので、その設定によって結果は若干左右される。この様な変数は、土壌水分量の初期値、土壌塩分量の初期値、地下水面の初期値、灌漑水の塩分濃度、間隙率、クリスチャンセンの係数、クリスチャンセンの係数の灌漑点からの水平方向の分布、そして割引率(r)である。これらの中で、rを除く全ての変数は物理的変数であり、これらは現状を参考にした設定値が与えられる性質のものである。これに対し、rは現実の経済状況に応じ将来にわたってその値が変動する性質のものであり、元来一義的に定まるものではない。従って、本モデルはrに関する感度分析を伴ってはじめて利用されうるものである。

シミュレーションの実施にあたっては、I<sub>ET</sub>の値の決定、もしくは仮定が必要である。

綿栽培期モジュールにおいては、以下の方法により決定が可能である。Marani *et. al.*<sup>1 2)</sup> は、同じ実験圃場ギラットでの綿栽培に関し、栽培時期全体にわたる灌漑日程、灌漑量、一定期間の蒸発散量、土壌水分量を観測し、その観測データを論文で発表している<sup>1 2)</sup>。観測された条件と同じ条件を  $a$ ,  $\theta_m$  と  $Q$  の変数の値として設定し、多くの異なる値を  $I_{ET}$  に与えた上でシミュレーションを走らせれば、その結果と観測データを比較することにより、望ましい  $I_{ET}$  の値が決定できる。表 3-2 は、そのような予備的検討としてのシミュレーションされた蒸発散量の値と観測された蒸発散量の値を比較したものである。 $I_{ET}$  は月によらず一つの望ましい値を持つ性質のものである一方、式(3-2)の係数  $a$ ,  $b$  は月ごとに求められるが、望ましい  $I_{ET}$  の値によって得られるシミュレーション結果は、観測された年の気象条件が平均的なものであれば、理想的には観測データと一致すべきである。しかしながら、現実には観測のされた年を含み、気象条件が平均的である年は一般的にはあり得ず、従って、計算結果と観測結果の完全な一致というものはあり得ない。より多くの観測データの収集は  $I_{ET}$  設定の精度を上げるが、どんなに多くの観測データに基づく設定であれ、それはある程度のランダムな誤差とモデル化に伴う誤差を含む。このような状況で、綿栽培に関しては表 3-2 より  $I_{ET}$  の値としては 0.35 を設定することが望ましいと判断する。冬小麦栽培に関しては、 $I_{ET}$  を設定する代わりに、同様に(3-2)式を利用し、ギラットにおける冬小麦を扱っている Strateener, *et. al.*<sup>5)</sup> からの未定係数  $a$  と  $b$  の直接の引用が可能である。

表 3-2：水分収支モデルによって予測された蒸発散量と観測値との比較

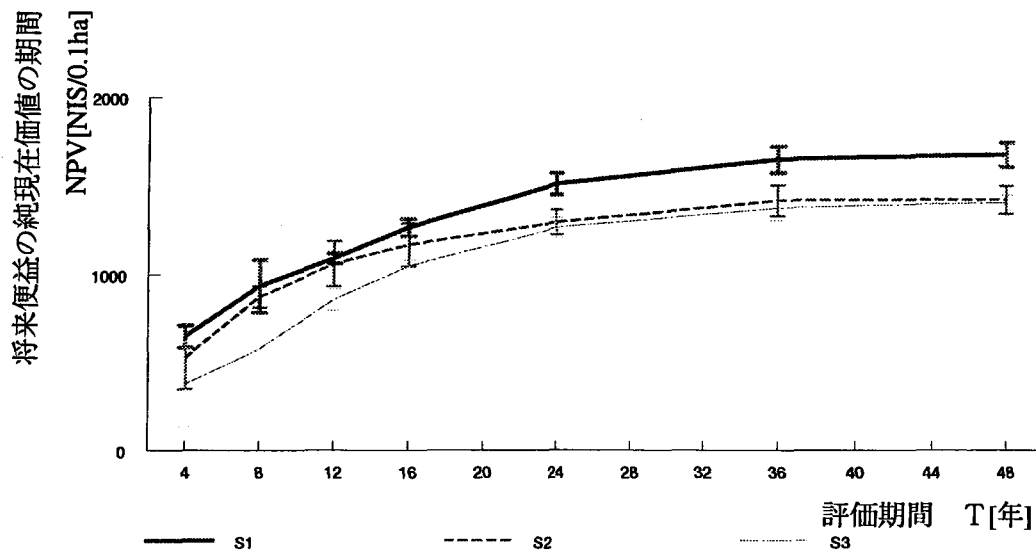
|                               | 作物栽培期<br>全体の蒸発<br>散量[mm] | 5月におけ<br>る一日平均<br>蒸発散量<br>[mm] | 6月におけ<br>る一日平均<br>蒸発散量<br>[mm] | 7月におけ<br>る一日平均<br>蒸発散量<br>[mm] | 8月におけ<br>る一日平均<br>蒸発散量<br>[mm] | 9月におけ<br>る一日平均<br>蒸発散量<br>[mm] |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 観測値                           | 570                      | 2.0                            | 3.6                            | 7.1                            | 4.6                            | --                             |
| $I_{ET}=25$ におけるシ<br>ミュレーション値 | 592.52                   | 2.3                            | 2.5                            | 8.0                            | 5.0                            | 2.1                            |
| $I_{ET}=30$ におけるシ<br>ミュレーション値 | 573.58                   | 2.2                            | 2.5                            | 7.7                            | 4.8                            | 2.1                            |
| $I_{ET}=35$ におけるシ<br>ミュレーション値 | 556.48                   | 2.2                            | 2.4                            | 7.4                            | 4.7                            | 2.0                            |
| $I_{ET}=40$ におけるシ<br>ミュレーション値 | 540.90                   | 2.1                            | 2.3                            | 7.2                            | 4.6                            | 2.0                            |
| $I_{ET}=45$ におけるシ<br>ミュレーション値 | 526.58                   | 2.1                            | 2.3                            | 7.0                            | 4.4                            | 1.9                            |

注)  $-I_{ET}$  [% of TASM] の値は以上の予備的検討のために仮定されたもの。

-TASM は 30cm の土層内での有効土壌水分量を示す。

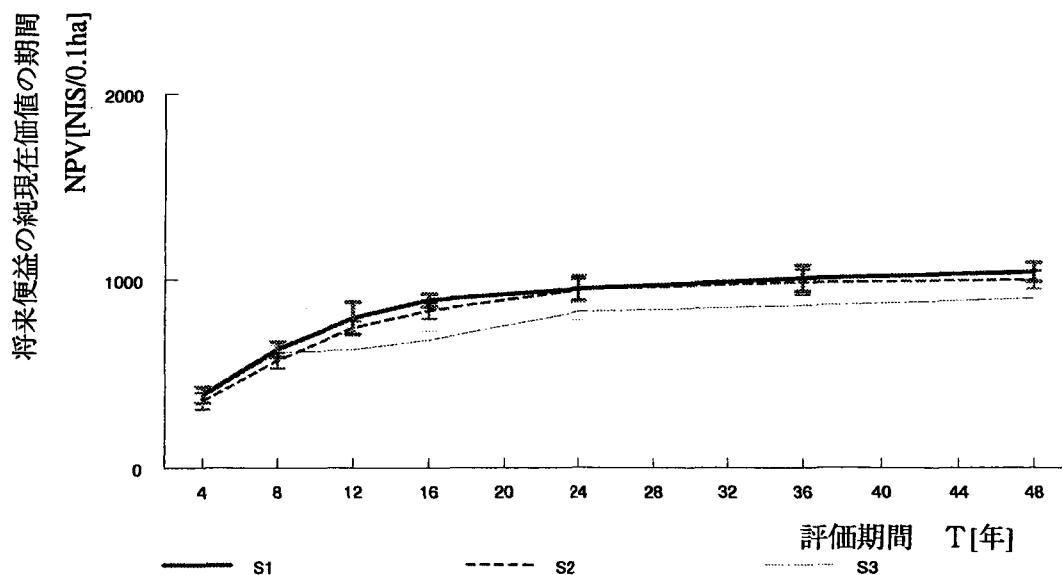
## 第2項 水分収支モデルの性能

本章冒頭で述べたように、本章の目的は、灌漑農業の背景にある二つの目的の達成によって得られる便益、及びそれに伴って生じる外部費用を含む費用、を定量化し、その



注) s1, s2, s3 はそれぞれ綿栽培に関する異なる灌漑日程例を示すものである。あくまで例に過ぎないが、具体的には第4章のs1, s2, s3と同様の設定を行ったものであり、(6/12, 7/2, 7/15, 7/28)において、それぞれ(111, 122, 134, 111), (90, 99, 108, 90), (138, 151, 165, 138)[mm]の灌漑をするものである。

図 3-5：水分収支モデルにおける異なる評価期間に対応する将来便益の純現在価値の変動に関する結果例－各年の作物選択を冬小麦，綿，綿，綿の順で行う場合－



注) s1, s2, s3 はそれぞれ綿栽培に関する異なる灌漑日程例を示すものである。あくまで例に過ぎないが、具体的には第4章のs1, s2, s3と同様の設定を行ったものであり、(6/12, 7/2, 7/15, 7/28)において、それぞれ(111, 122, 134, 111), (90, 99, 108, 90), (138, 151, 165, 138)[mm]の灌漑をするものである。

図 3-6：水分収支モデルにおける異なる評価期間に対応する将来便益の純現在価値の変動に関する結果例－各年の作物選択を冬小麦，冬小麦，冬小麦，綿の順で行う場合－

純便益を計量すること、言い換えれば、それを可能とする収量と塩類集積被害を予測するコンピュータシミュレーションを構築することにあった。ここでは、塩類集積関連の外部費用として、ウォーターロギング防止費用だけを扱い、その費用を計上した。

これまで触れてきたように、以上の水分収支モデルは灌漑農業の実施による長期的便益の純現在価値を圃場内塩類集積防止費用を内部化した形で予測できる。このモデルは、当初の目的だけでなく、必要に応じた操作変数、もしくは外生変数の操作により、灌漑日程と灌漑量の最適化等、他の目的にも利用可能である。更に、ギラット固有のデータに基づかない部分の水分モデルの枠組みは他の値にも適用可能な普遍的モデルである。これは、実際に第4章、第6章で他の圃場に適用される過程で検証される。

以下では、第4章以下での経済評価に備え、シミュレーションの性能を示すため、結果がどのような形をとりうるか、若干の結果例を示す。結果例を示すために、冬小麦栽培に関しては一通りの、綿栽培に関しては三通り (s1, s2 と s3) の灌漑スケジュール (灌漑の頻度、日程、各回の量) を仮定した。これら灌漑日程は、その理念、具体的決定方法について、続く第4章で具体的に検討されるものであるが、ここでは単なる灌漑スケジュール例として扱う。イスラエルの名目利率に従い、割引率を10%と設定したほか、各変数には標準設定値をもうけ、それを表3-1にあわせて表示した。結果例として、図3-5、図3-6に、2つの異なる作物年配列 WCCC, WWWC についての、NPV の評価期間 T の変化に応じた変動ぶりを示す。ここで、例えば WCCC は、冬小麦栽培とそれに伴う休閑期で構成される1年の W に続いて3年間 C を行う4年間を基本に、それを繰り返す作物年配列を示す。各グラフでは、降水パターンのランダム誤差を排除するために10回行ったシミュレーション結果の値に、その標準偏差をエラーバーとして付与して示した。このように、水分収支モデルは異なる灌漑戦略の結果としての NPV を比較し、望ましい灌漑戦略の考察を可能とするものである。

#### 第4節 本章の結論

以上では、灌漑農業の持続的利用と短期的便益の追究という二つの競合する目的間に存在するトレードオフ関係の定量化を可能とする水分収支モデルを構築した。

水分収支モデルの構築によって、以下が結論として得られた。

1. 水分収支モデルの構築により、実験圃場ギラットにおける灌漑農業の長期的影響の評価が可能になった。従って、同圃場内における既述のトレードオフの定量的評価をも可能とした。
2. 圃場の特性を与えるデータを収集すれば、乾燥地・半乾燥地の他の圃場への同モデルの利用が可能である。また、他の圃場に同モデルを適用すれば、塩類集積のリスクのもとでの灌漑農業の長期的評価をするために有用な、将来純便益、外部不経済をもたらす地下浸透水分量に関する情報整理が可能である。
3. 同モデルを特定の他の圃場に適用することで、塩類集積のリスクのもとでの灌漑農業の長期的評価のために収集が必要なデータ群を特定できる。

水分収支モデルの構築に伴う今後の課題は以下の通りである。まず、塩類集積評価としては塩分収支が取り入れられていないが、これについては第4章で扱う。また、同モデルは圃場内の鉛直方向一次元方向について構築されたものであるが、対象とする次元をあげたり、対象領域を広域化したりすることで、評価精度や評価規模を拡張することが可能である。圃場内だけではなく下流域を対象領域に含めて、圃場内外、つまりは排水路の上流・下流間の問題を扱いうるようなモデル化を第6章では行うが、これはこのような拡張の一つの方向でもある。

次章以下では、水分収支モデルを拡張し、塩分収支を含めた上で、実際に塩類集積が問題となっている圃場での、懸案のトレードオフ関係の経済評価、つまり灌漑農業の持続性と農業収益の追究間で、どのような意思決定が可能であるのか、検討を深める。

#### 【参考文献】

- 1) Letey, J. (1991) Crop-water production function and the problems of drainage and salinity  
In: The Economics and management of water and drainage in agriculture (Dinar, A. and Zilberman, D. eds.) Kluwer Academic Publishers 209-227
- 2) Kusumi, A. and Morishita, T. (1998): Construction of Water and Salt Balance Simulation Model to Forecast Long Term Effect of Irrigation Agriculture, 沙漠研究 8-1, 日本沙漠学会, pp.47-60
- 3) Agricultural Ministry of Israel (1993) Extension Service "Crop Budgets" (Unpublished Data)
- 4) Meteorological Service, Ministry of Israel eds. (1993) Unpublished Data of Meteorological Service, Ministry of Israel
- 5) Strateener, G., Yaron, D., Bresler, E. and Shimshi, D. (1975) Simulation Model for Evapotranspiration of Wheat: Effect of Evaporative conditions, J. irrig. Drain. Div. ASCE, vol.101, No.1R1, Proc. Paper 11169, March, 13-19
- 6) Plaut, Z. eds. (1993) Unpublished Data of Volcani Centre in Israel
- 7) Yaron, D., Dinar, A., Meyers, S. and Segev, A. (1983) Optimal Allocation of Water on Kibbutz Farming during the Peak Season of Irrigation of Cotton. Research report. The Center for Agricultural Economic Research. Faculty of Agriculture - Rehovot, Israel (in Hebrew mimeo)
- 8) FAO (1986) Irrigation and Drainage Paper 33 Yield Response to Water FAO 193p.
- 9) 楠美順理 (1995) 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― 筑波大学修士論文
- 10) Strateener, G. (1974) A Simulation Model for the Economic Analysis under Conditions of Stochastic Rainfall. M.Sc. Thesis Submitted to the Hebrew University of Jerusalem. (in Hebrew, mimeo)
- 11) FAO (1989) Irrigation and Drainage Paper 29 Water Quality for Agriculture FAO 164p.

- 1 2 ) Marani,A., Shimshi,D. and Amirav,A. (1966) The Effect of Time and Duration of Soil Moisture Stress on Flowering, Boll Shedding, Seed and Lint Development, Yield and Lint Quality of Cotton, Hebrew University 88p.

## 第4章 圃場内塩類集積防止のための望ましい灌漑水量の評価－イスラエルのイズリル谷における事例研究－

### 第1節 本章の目的と背景

第3章で構築したモデルを拡張し、実際に塩類集積のある圃場に適用し、当該圃場における既述の二つの競合した目的、すなわち灌漑農業の持続と農業収益の追究間での意思決定が可能なように情報の整理を行う。

対象とする圃場は、図4-1に示すようにイスラエル北部に位置するイズリル谷に位置する。ここでは、80年代からウォーターロギング、塩類集積が顕著に観測されるようになった。この地域は、日差しが強く、乾燥し、年間降水量は500mm以下で、地中海性気候に属する。今世紀初期まで、この谷の約60%は泥炭地であったが、地下水面を土壌表層以下数メートルに押し下げる集中的排水事業により、この土地はイスラエルで有数の肥沃な土壌に生まれ変わった<sup>1)</sup>。(なお、この時の排水事業は一時的なもので、第3章で導入を仮定し本章以降でも用いる暗渠排水とは異なる。)しかしながら、その後この地の多くで塩類集積が観測され始めた。例えば、イズリル谷中に位置するキブツサリド；Kibbutz Sarid(32° 40'N, 35° 13'E)では、700haを有する農地のうちで、これまでに10～25 haの灌漑農地が塩類化した。ここでの塩類集積は、具体的には以下の要因によって引き起こされた。それらは、気候条件、粘土質の土壌質、塩分濃度の高い下水処理水の灌漑利用、これまで行われた時間当たり集約的な農業形態、そして圃場からの排水の灌漑への再利用である。圃場からの排水が灌漑に再利用されてきたのは、灌漑用ため池に排水池の機能をかねあわせてきたためである。

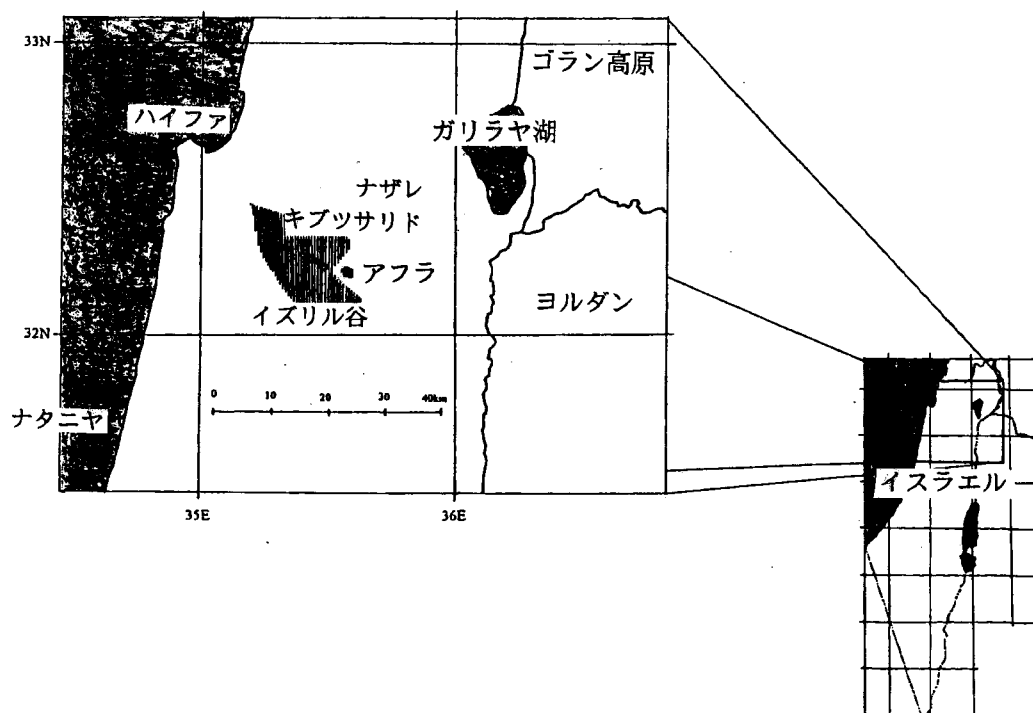


図4-1：本章で対象とするイズリル谷、キブツサリドの位置

イズリル谷で塩類集積が発生した背景には、第2章以来言及している灌漑農業下でのコンフリクトが明らかに存在する。そこで、このコンフリクトに対し意思決定主体が望ましい灌漑戦略を選択できるよう、関連するほぼ全ての情報の整理を行う。具体的には、技術的に可能な対策を検討した上で、第3章で構築した水分収支モデルを拡張・修正しイズリル谷に適用することで、圃場内塩類集積対策を検討する。一般に、ある種の問題には自然科学的知見だけによる最善戦略の選択は難しく、研究によっては最善戦略の選択は研究主体者の立場・思想に左右されることがある。従って、本章の事例研究ではその様な著者の主観をできるだけ排除し、最終的な最善戦略の選択を意思決定者に委ねられるよう、主体の選好によって値が決まる変数については値の設定をせず、情報整理の徹底に努める。

作業としては、圃場外の下流域に塩類集積を起こしうる、圃場内の根圏域以下への累積塩分量 ( $DP_c$ ) の計量を第3章における NPV 評価と DP 評価に加え、これらの値が示す社会的便益に関するトレードオフ関係の定量表示の精度を挙げることを目的とする。NPV の値は、排水施設の種類、設置法、栽培作物品種等、第3章に記述した多くの要因によって規定されるが、単純な経営問題に属し、本論が目的としている望ましい灌漑戦略の追究、もしくはトレードオフ関係の程度に影響を与えない要因は全て考察から除外している。栽培作物は、イズリル谷での主栽培作物である冬小麦と綿に限る形で仮定し、第3章同様、その一年一作を仮定した。輪作形態も、簡単化のために連作障害はないものと仮定し、第3章同様作物年配列として操作変数化した。ウォーターロギング対策として、作物栽培自体の工夫によるウォーターロギングによる上昇水分を利用した耕法があるが、このような対策の効果はまだ研究中のもので、明確ではないので対象から外した。以上の枠組みの中で、既述の競合する二つの目的間での妥協策としての3つの異なる灌漑戦略を立案し、それらの結果として求められる NPV と  $DP_c$  を比較することが、作業上の第2の目的である。

以上、第3節に示した水分収支モデルの拡張としての塩分収支モデルを第2節で構築、第3節で検証した上で、第4節において利用灌漑水量に関する考察対象代替案の具体的立案を行い、その結果を第5節で検討し、第6節において本章での結論を述べる。

## 第2節 塩分収支モデルの構築<sup>2)</sup>

### 第1項 塩分収支モデルの概観

これまで述べてきたように、塩分収支モデルは水分収支モデルを拡張したものであるため、以下では基本的に水分収支モデルとの差異のみについて記述する。

塩分収支モデルを構成するモジュール群とその構成、それぞれの役割は水分収支モデルと同じである。その全体構造は図4-2の様に簡単化して表現される。イズリル谷を対象とした場合の作物栽培年は図4-3に定義される。全体を通しての操作変数は、灌漑水量 ( $Q$ )、灌漑水の塩分濃度 ( $co$ )、考察対象としている地下水層からの水平方向への

自然排水量 (nd)，作物年配列 (CYS)，割引率 (r)，そして評価期間 (T) である。  
また，利用する変数一覧は表 4-1 に示す。

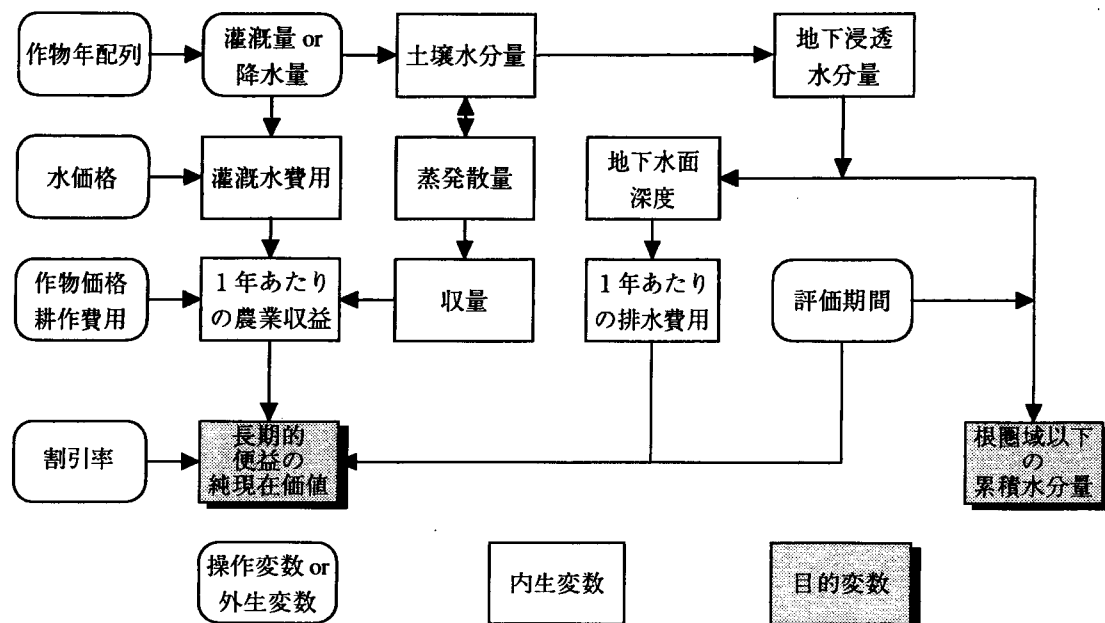
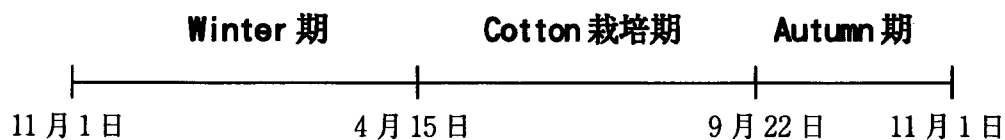


図 4-2：塩分収支モデルの構造と主要変数の関係

栽培年 C



栽培年 W

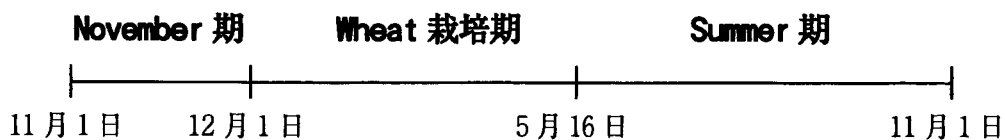


図 4-3：塩分収支モデルにおける綿と冬小麦それぞれの作物栽培年の定義

表 4-1：塩分収支モデルにおける主要変数の定義とそれらの標準値

| 外生変数              |                                                                                                                                                           |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| m~mb              | 作物栽培期の期間.                                                                                                                                                 |
| at                | 栽培期間の日最大蒸発散量[mm]. イスラエル気象庁内部資料より引用.                                                                                                                       |
| I                 | 1層 30cm の4層に分割した根圏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数.                                                                                                                                             |
| $\theta_{in}$     | 土層ごとの栽培開始時の初期土壌水分量. (0 15 20 20) [% of TASM]                                                                                                              |
| $\theta_{sum}$    | 土層ごとに仮定された summer 期末日の土壌水分量. (0 7 15 20) [% of TASM]                                                                                                      |
| $\theta_{aut}$    | 土層ごとに仮定された autumn 期末日の土壌水分量. (0 10 20 25) [% of TASM]                                                                                                     |
| $c_{in}$          | 土層ごとの土壌塩分濃度の初期値. Livne <sup>3)</sup> より(447 900 1940 2930) [cf ppm]                                                                                       |
| WT <sub>in</sub>  | 初年の栽培開始時の地下水面深度. 2000[mm]                                                                                                                                 |
| kc                | 作物成長期ごとの作物係数. 綿に関し, (Apr. May Jun. Jul. Aug. Sep) = (0.00 0.30 0.35 0.78 0.60 0.30)                                                                       |
| RAIN              | 降水量[mm]. イスラエル気象庁内部資料より 22 年にわたる 10 日ごとのデータを引用.                                                                                                           |
| FC                | 1層 30cm の4層に分割した根圏域の圃場容量[mm/30cm]. 実測値より 135[mm].                                                                                                         |
| PWP               | 1層 30cm の4層に分割した根圏域の永久しおれ点[mm/30cm]. 実測値より 75[mm].                                                                                                        |
| TASM              | 土層ごとの土壌の可能含有水分量の幅 (Total available soil moisture) [mm/30cm]. FC より pwp を減じたもので 60[mm]                                                                     |
| k                 | 5つに分けた作物成長期を特定する指標. k = 1~5. それぞれの末日は May 16 <sup>th</sup> , June 11 <sup>th</sup> , July 2 <sup>nd</sup> , 23 <sup>rd</sup> , and Sept. 21 <sup>st</sup> |
| cr                | 作物を特定する指標                                                                                                                                                 |
| Pcr               | 作物価格. 綿は 1.62 [NIS/kg] <sup>4)</sup> . 冬小麦は 0.54 [NIS/kg] <sup>4)</sup> .                                                                                 |
| w                 | 単位あたりの水価格. 0.45 [NIS/kg] <sup>4)</sup> .                                                                                                                  |
| RCC <sub>cr</sub> | 1年あたりの作物栽培費用. 綿は 400 [NIS/0.1ha] <sup>4)</sup> . 冬小麦は 150[NIS/0.1ha] <sup>4)</sup> .                                                                      |
| 操作変数              |                                                                                                                                                           |
| Q                 | 栽培開始時と栽培中の3回の総灌漑水量[mm].                                                                                                                                   |
| co                | 灌漑水質. 予備的検討により 300 [cf ppm]                                                                                                                               |
| nd                | 年間あたりの地下水層からの水平方向への自然排水量. 標準設定値は 0 [mm]                                                                                                                   |
| l <sub>ET</sub>   | 日蒸発散量決定指数. 綿に関し, 標準設定値として 0.35.                                                                                                                           |
| CYS               | 作物年配列. CW が標準設定値.                                                                                                                                         |
| r                 | 割引率. 標準設定値として 10%.                                                                                                                                        |
| T                 | 評価期間. 標準設定値として 48[年間].                                                                                                                                    |
| 内生変数及び最終評価対象変数    |                                                                                                                                                           |
| ET                | 一日の蒸発散量[mm/0.1ha].                                                                                                                                        |
| $\theta$          | 1層 30cm の4層に分割した根圏域の各層の土壌水分量 [mm/30cm]                                                                                                                    |
| td                | 栽培期間の時間[日].                                                                                                                                               |
| a, b              | 式(3-2)中の蒸発散推定のための未定係数.                                                                                                                                    |
| f                 | 理想的蒸発散量[mm]. at に kc を乗じて得る.                                                                                                                              |
| x(k)              | 綿栽培における各作物成長期ごとの危険日日数[day].                                                                                                                               |
| Y <sub>c</sub>    | 綿の収量[Kg/0.1ha].                                                                                                                                           |
| Y <sub>w</sub>    | 冬小麦の収量[Kg/0.1ha].                                                                                                                                         |
| SB <sub>c</sub>   | 綿栽培から得られる一年あたりの便益[NIS/0.1ha].                                                                                                                             |
| SB <sub>w</sub>   | 冬小麦栽培から得られる一年あたりの便益[NIS/0.1ha].                                                                                                                           |
| SB                | 作物栽培と排水施設関連双方による一年あたりの便益[NIS/0.1ha].                                                                                                                      |
| t                 | 時間[year]                                                                                                                                                  |
| c                 | 灌漑水量, 及び土壌中の塩分濃度[cf ppm].                                                                                                                                 |
| TP                | 作物成長に影響を及ぼす総ストレス[-kPa].                                                                                                                                   |
| OP                | Osmotic potential, 塩分量の総ストレスへの寄与分[-kPa].                                                                                                                  |
| MP                | Matric potential, 水分量の総ストレスへの寄与分[-kPa].                                                                                                                   |
| $\theta$          | TP に相当するダミー土壌水分量[mm/30cm].                                                                                                                                |
| WT                | 地下水面深度[mm].                                                                                                                                               |
| DP                | 根圏域以下への地下浸透水分量[mm].                                                                                                                                       |
| DP <sub>c</sub>   | 根圏域以下への地下浸透塩分量[g/0.1ha].                                                                                                                                  |
| NPV               | 単位圃場面積当たりの将来純便益の現在換算価値[NIS/0.1ha].                                                                                                                        |

注) シミュレーションに使われた全変数の中でも, 本文にて明示的に取り扱われていないものの提示は省略した.

—“NIS” は New Israeli Shekel の短縮形で, 1994 年において 1[NIS]≒35 [yen].

—イタリック体で示した変数は, 水分収支モデルでは用いず, 塩分収支モデルへの拡張に応じて用いたものである.

## 第2項 水分・塩分収支計算の枠組み

水分収支計算は水分収支モデルと全く同じである。塩分収支計算は同様に以下の式による。

$$Q_{td} C_{Q,td} - DP_{td} C_{DP,td} = C_{\theta,td+1} \theta_{td+1} - C_{\theta,td} \theta_{td} \quad (4-1)$$

ここで、降水と蒸発散水分における塩分濃度はゼロと仮定した。各土層間で移動する水分中の塩分濃度は、 $td$  と  $td+1$  におけるものの時間平均を用いた。根圏域以下への累積塩分量 ( $DP_c$ ) は、 $DP$  に含まれる塩分量である。(4-1)式に暗示されているように、本論では、水分移動に伴う塩分移動のみを考察対象としており、土壌中での塩の吸着、イオン交換等の全ての化学反応、流体中での塩分の拡散等による挙動は簡単化のために評価に含めていない。また、塩としてはその代表として塩素イオンのみに着目した。

地下水系に関しては、実験圃場ギラットとは異なる扱い方をした。イズリル谷の実際の地下水系はほぼ閉鎖系のものである。つまり、一旦地下水層に到達した水分は、ウォーターロギングを通じて地下水が表層に出た後に、表層を水平方向に流れることを除いては、ほぼ系外に流出することはない。しかし、これはイズリル谷特有のむしろ例外的特徴なので、より普遍的状况が考察できるよう地下水層からの水平方向への年間あたりの自然排水量 ( $nd$ ) を操作変数化し、その量に応じた効果を検討した。

## 第3項 作物栽培期モジュール

イズリル谷では、冬季に十分な降水があり、伴って冬小麦栽培では灌漑は行わないものと仮定した。塩分収支の導入に伴い、蒸発散推定の方法は修正された。水分収支モデルでは、土壌水分量は蒸発散量を規定する変数と仮定された。作物（の根）は、土壌水分を媒体として直接に受ける圧力を総ストレスとして受け取る。従って、蒸発散量を土壌水分量の一次関数と仮定したことは、作物への総ストレス ( $TP$ ) の一次関数と仮定したことに相当する。(3-2)式では、ストレスの発生因として土壌水分だけを扱っていたが、これは総ストレス ( $TP$ ) をマトリックポテンシャル ( $MP$ ) だけに起因するものとみなしていたことに相当する。ここで、マトリックポテンシャル (Matric Potential) とは土壌水分自体の重量が及ぼす圧力のことで、吸引圧 (suction) とか張力 (tension) とも呼ばれる<sup>5)</sup> が、本論では一貫してマトリックポテンシャル ( $MP$ ) と呼ぶ。これに対し、本章では  $TP$  を構成する他の圧力の要素として全て<sup>6)</sup> は含めないが、塩分に起因する浸透圧ポテンシャル ( $OP$ ) を考慮し、 $TP$  を  $MP$  と  $OP$  の和として扱う。なお、この浸透圧ポテンシャル (Osmotic Potential) とは、水分中の塩分イオンと水分子間に働く力のことを示す。このような想定の下で、以下に示す単位変換を行い、 $TP$  に相当するダミー変数  $\Theta$  を(3-2)における  $\theta$  と置き換え、蒸発散推定を行う。

単位変換として、まず  $OP$  は以下の式<sup>7)</sup> によって塩分濃度から変換される。

$$OP [-kPa] \doteq 0.014 c [mg/l] \quad (4-2)$$

この式は、Blesler が示した  $OP$  と電気伝導度の関係式<sup>6)</sup>、同じく Blesler が示した土壌中のイオン量と電気伝導度の間に一般に成り立つ関係式<sup>6)</sup>、および本論で塩分の指標とし

て扱っている塩素の 1 等量数から求めた<sup>7)</sup>ものである。また、MP はイズリル谷の土壤特性を計測し、求められた以下のリテンションカーブ<sup>7)</sup>により、 $\theta$  から変換される。

$$MP \text{ [-kPa]} = a_1 + a_2 \exp(-a_3 \times \theta) \quad (4-3)$$

ここで  $a_1 = 6.164$ ,  $a_2 = 2478313.274$ ,  $a_3 = 0.0825$ ,  $r^2 = 0.990$

(4-3)式を MP だけが従うものではなく TP も従うものであるとみなすことで、TP は土壤水分量と同様の単位、性格を持つダミー変数 $\Theta$ に変換できる。 $\theta$  を $\Theta$ で置き換え、 $\Theta$ について整理したものが、以下である。

$$\Theta = -(1/a_3) \log \{(TP-a_1)/a_2\} \quad (4-4)$$

以上により、(3-2)式に代え、本章では以下の式を蒸発散推定に用いる。

$$ET = a + b\Theta \quad (4-5)$$

根の成長速度に関し、綿に関しては水分収支モデルと同じ設定を行った。冬小麦に関しては、未定係数  $a$  と  $b$  自体を引用した Strateener, *et.al.*<sup>8)</sup>での根の成長に応じた考察対象土層自体を、ギラットとイズリル谷における栽培スケジュールにほぼ差異がないことを理由に引用した。

収量予測に関しては、綿については水分収支モデルに用いた経験式を本章でも用いる。一方、冬小麦に関しては、予測方法自体を異なる形にした。これは、イズリル谷固有の状況によるもので、イズリル谷ではウォーターロギングが既にある程度以上進行しており、それが根圏域を犯す冬季にあつては、冬小麦は、ウォーターロギングによって上昇した水分をある程度利用して成長している。（綿はウォーターロギングが顕著でない夏期に栽培されるため、その様な状況はない。）この様な状況は、これまで述べてきた本研究の水分収支・塩分収支の枠組みにそぐわず、また、この様な状況の現実のフィールドでの水分収支・塩分収支状況は十分に解明されていないため、本研究では収量予測法自体を簡略化した。具体的には、本研究で用いている過去 22 年間の降水パターンを含む各年ごとの気象条件を、イスラエル農業省の現地の灌漑指導員に示し、各年の収量の実績値<sup>7)</sup>を若干修正してもらったものを用いた。この値は、多年にわたる平均収量 525[Kg/0.1ha] を基準に、それに対する割合で示した。

#### 第 4 項 休閑期モジュール

塩分収支モデルの休閑期モジュールの、水分収支モデルのそれとの違いは、2 点だけである。1 点目は、Winter モジュールと November モジュールにおける降水のない日の蒸発量の設定値である。それぞれの対象圃場であるギラットとイズリル谷の気象条件の差を考慮し、水分収支モデルでは 1.0mm としていたものを、塩分モデルでは 1.4mm と設定した。もう 1 点は Summer モジュールと Autumn モジュールの期間における土壌内塩分濃度の変動についてである。塩分移動は水分移動に伴うものだけを扱っている事情と、各休閑期においては降水がなく根圏域以下へ水分が浸透しない事情により、根圏域内の塩分量はその期間全体にわたり一定である。よって、期間中の塩分濃度は、その変化しない塩分量が土壤水分量によって希釈・濃縮されることにより変動するのみである。

## 第5項 排水モジュール

本モジュールに関しては全てにおいて第3章における排水モジュールと同様の扱いをしている。

## 第6項 ドライビングモジュール

ドライビングモジュールに関する、塩分収支モデルの水分収支モデルに対する違いの一つは、土壌塩分量が内生変数として重要な役割を占めていることであり、もう一つは、根圏域以下への累積塩分量を最終評価対象変数として追加したことである。

### 第3節 塩分収支モデルの精度<sup>2)</sup>

水分収支モデルの精度に関しては第3章第3節に記した。水分収支モデルに追加・修正した塩分収支モデル固有の構造・変数は全て操作不可能なものであり、仮に精度を上げる必要がある場合には、仮定を変える必要がある。

表4-1に示したように、操作変数は、灌漑水量  $Q$ 、灌漑水の塩分濃度  $c_0$ 、自然排水量  $nd$ 、蒸発散量決定指数  $I_{ET}$ 、作物年配列  $CYS$ 、割引率  $r$  と評価期間  $T$  である。蒸発散量決定指数  $I_{ET}$  の操作はシミュレーションの物理的精度を左右する性質のものであるのに対し、他の操作変数の操作はその値に応じた異なる状況のシミュレーションを行うことに相当する。水分収支モデル同様、シミュレーションの実施に際しては、 $I_{ET}$  の値の標準設定が必要である。綿、冬小麦それぞれの、異なる蒸発散量決定指数  $I_{ET}$  の設定に応じた異なる結果の差異を表4-2、表4-3に示した。これらから、綿と冬小麦それぞれに関して、標準設定値を0.10と0.60とした<sup>7)</sup>。綿の  $I_{ET}$  の設定にあたっては、イスラエルの農業省<sup>9)</sup>が推薦している灌漑日程が、一年あたりの便益を最大にする灌漑は、4回にわたって、それぞれ(80, 88, 96, 80) [mm]から(100, 110, 120, 100) [mm]の間にあることを示していることを根拠とした。また、冬小麦の  $I_{ET}$  の設定にあたっては、シミュレーションによって得られる各月、および栽培期間全体の蒸発散量を、クラスAパン蒸発量に作物係数を乗じて求めた可能最大蒸発散量との比較に依った。

表4-2：異なる蒸発散量決定指数  $I_{ET}$  の値に応じた一年あたりの綿栽培による便益量

| $I_{ET}$ | 4回の灌漑における各灌漑水量 [mm]  | 一年あたり便益 [NIS/0.1ha] |
|----------|----------------------|---------------------|
| 0.25     | (70, 77, 84, 70)     | 338.67              |
|          | (80, 88, 96, 80)     | 322.13              |
| 0.20     | (70, 77, 84, 70)     | 324.23              |
|          | (80, 88, 96, 80)     | 311.19              |
| 0.15     | (70, 77, 84, 70)     | 313.55              |
|          | (80, 88, 96, 80)     | 300.38              |
| 0.10     | (70, 77, 84, 70)     | 181.22              |
|          | (80, 88, 96, 80)     | 227.40              |
|          | (90, 99, 108, 90)    | 368.95              |
|          | (100, 110, 120, 100) | 248.21              |
|          | (110, 121, 132, 110) | 231.07              |
|          | (120, 132, 144, 120) | 210.82              |

表 4-3：異なる蒸発散量決定指数  $I_{ET}$  の値に応じた冬小麦栽培における蒸発散量

|               | 1 2月期の<br>日平均蒸発<br>散量[mm] | 1月期の日<br>平均蒸発散<br>量[mm] | 2月期の日<br>平均蒸発散<br>量[mm] | 3月期の日<br>平均蒸発散<br>量[mm] | 4月期の日<br>平均蒸発散<br>量[mm] | 5月期の日<br>平均蒸発散<br>量[mm] | 栽培期全体<br>における総<br>蒸発散量<br>[mm] |
|---------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 可能最大<br>蒸発散量  | 0.96                      | 1.27                    | 1.43                    | 2.59                    | 3.84                    | 4.56                    | 372.91                         |
| $I_{ET}=0.75$ | 0.6                       | 1.2                     | 1.3                     | 2.3                     | 3.0                     | 2.7                     | 291.14                         |
| $I_{ET}=0.70$ | 0.6                       | 1.2                     | 1.3                     | 2.4                     | 3.1                     | 2.7                     | 299.23                         |
| $I_{ET}=0.65$ | 0.6                       | 1.2                     | 1.4                     | 2.4                     | 3.1                     | 2.7                     | 306.86                         |
| $I_{ET}=0.60$ | 0.6                       | 1.3                     | 1.4                     | 2.5                     | 3.2                     | 2.7                     | 315.12                         |
| $I_{ET}=0.55$ | 0.7                       | 1.3                     | 1.5                     | 2.6                     | 3.3                     | 2.8                     | 324.12                         |

両作物において、この値の設定には任意性が高いため、塩分収支モデルを他の圃場に適用する場合にも、精度を示すために表 4-2、表 4-3 に相当するデータの提示が必要である。イズリル谷については、 $I_{ET}$  設定のための材料は他になく、この設定の精度を上げるにはデータの充実を待つ必要がある。

また、冬小麦がウォーターロギングによって上昇した主に高塩分の水分を利用して成長する場合の収量への負の影響、および、ウォーターロギング緩和への正の影響が未解明であるという事情はあるが、これらを評価対象に含めていないこと、伴って収量予測を現地の灌漑指導員の判定に頼っていることにより精度が落ちていることを触れておく。今度の課題の一つである。

#### 第 4 節 利用灌漑水量に応じた代替案の立案<sup>10)</sup>

第 3 節までで構築した塩分収支モデルを用い、イズリル谷における望ましい灌漑水量の追究のための情報整理を試みる。以下ではまず、経済評価の枠組みを明確にする。

評価対象とするキブツサリドに関して、現在所有しているスプリンクラー式灌漑施設を所与のものとし、今後にわたって利用できるものと仮定する。なお、必要となる施設の維持費用は灌漑戦略によらず一定値をとり、以下の考察で着目する NPV 比較には影響を与えないので、考察対象から外している。本章でも用いる(3-15)式は、基本的にはキブツサリドの経営主体にとっての私的便益量である。研究の目的に沿って計量が望まれるのは、社会的便益であるが、その明確な枠組み設定は第 5 章、第 6 章に譲り、ここでは倫理的視点を加えた、つまり社会的費用の内部化をした私的便益の計量に留める。また、便益計算においては、余剰計算を含めていない。

イズリル谷では、灌漑水の水源として 2 種類のものが存在する。一つは、キブツが私的に所有する溜め池からの費用がかからないものである。これは、雨水とキブツ内の下水の処理水を集めたものである。もう一つは、クファルバルーフ (Kfar Baruch) というイズリル谷全域で利用されている広域の溜め池からの有料水である。クファルバルーフは雨水、下水処理水、周辺農地からの排水を集めるものである。本研究では、単純化のために、全ての灌漑水は後者の水を購入しているものとみなす。アルカリ化や労働生産性に関する単純化等は、全て第 3 章と同様の仮定を用いた。

以上を受け、塩類集積の防止費用を内部化した長期的便益を、直接、間接に規定する灌漑水量と、排水施設の導入を考慮し、理念的に望ましそうな灌漑戦略の代表として以下の3つの灌漑戦略を立案する。また、それぞれの灌漑戦略の特徴を表4-4に示した。

戦略1: 地下水面の上昇、つまりウォーターロギングの発生を全く考慮しないで、各年あたりの(費用を含めた)純便益を各年ごとに最大化するような収量を挙げる代替戦略(s1)

戦略2: 地下水面保全を最優先に、地下浸透水分量を最小に抑えた上で可能な収量を挙げる代替戦略(s2)

戦略3: 地下水面の上昇、つまりウォーターロギングの発生を全く考慮しないで、各年あたりの収量を最大化する代替戦略(s3)

表4-4: 各灌漑戦略の相対的特徴

|     | ウォーターロギング発生可能性の程度 | 初期の収量 | 将来の収量     | 外部不経済(下流域の塩類集積)発生の潜在可能性 | 長期的便益 |
|-----|-------------------|-------|-----------|-------------------------|-------|
| 戦略1 | 中                 | 中     | 自然排水量と地下  | 中                       | 不明    |
| 戦略2 | 低                 | 低     | 浸透水分量の程度  | 低                       |       |
| 戦略3 | 高                 | 高     | に応じるため、不明 | 高                       |       |

灌漑の長期的効果を考慮に入れなければ、灌漑戦略 s1 が最も望ましいと推察される。しかしながら、水分の地下浸透をもたらしような一定量以上の灌漑が行われるなら、ウォーターロギングが発生する。これは、s3, s1, s2 の順で発生可能性が高い。そのようなウォーターロギングの発生を防げるよう、地下浸透水分量を低く抑える s2 は、明らかに短期的便益は低く、長期的便益についても、相対的に高いか低いかは不明である。現実の灌漑では、少量の灌漑水量の操作はあまり考慮されず、s1 でも s2 でもなく、s3 が選択されていることが多い。その様に、一般によく行われていることの長期的効果を同時に見るために、s3 も同時に比較対象として立案された。

以上、3つの灌漑戦略は具体的には灌漑水の量によって区別される。塩分収支モデルを用いれば、予想される年間収量、予想される地下水面深度、予想される年間の便益量は、灌漑水量に応じて定量的に規定される。なお、既述のように、灌漑を想定しているのは綿だけなので、ここで触れている灌漑とは全て綿に関するものだけである。

第3章第2節第3項において述べたが、これまで述べてきた灌漑水量(Q)とは、灌漑回数、各回の日づけ、各回の灌漑量からなる情報の、総灌漑水量だけを代表していたものである。これら灌漑回数、各回の日づけ、各回の灌漑量の3つの変数を操作した場合、可能な灌漑形態は無限に存在する。そこで、イスラエルの農業省<sup>9)</sup>が推薦している灌漑日程を参考に多くの予備的検討を行った結果、他の変数の量に関わらず、灌漑回数としてはイスラエルの農業省が推薦している4回が妥当であることがほぼ示された。また、推薦されている灌漑日程に従った場合の収量が、他の日程によるものの多くを上回

り、またその日程を若干変化させることが結果にほとんど影響を及ぼさないこともほぼ示された。これらには若干、議論の余地が残されているが、以上より、仮定として4回の灌漑と農業省推薦の日時を採用した。全く同様の理由で、各回の灌漑量についても推薦されている灌漑量を参考に、各回の量の比を10:11:12:10と仮定し、その比に従って灌漑量を操作した。

図4-4は、4回の総灌漑水量の値に応じた、年間の便益量と根圏域以下への浸透水分量の変動の状態を示している。同様に、図4-5は4回の総灌漑水量の値に応じた、年間の収量と根圏域以下への浸透水分量の変動の状態を示している。これら二つの図より、s1～s3を、それぞれの理念的定義に従って具体的に選択する。s1は地下浸透水分量とは無関係に、年間便益が最大のものを選んだ。s2は、ある程度以上の年間便益を挙げ得るもので、地下浸透水分量がほぼないものを選んだ。s3は、地下浸透水分量が極端に多くならない範囲で、予測収量がほぼ一定値に収束しているあたりのものを選んだ。図に示されている曲線は不連続であり、また収量曲線と地下浸透水分曲線は漸近的であるので、s2及びs3は著者の選択に任意性が残されているが、このような状況のもと、設定値として選んだ以上を表4-5にまとめる。

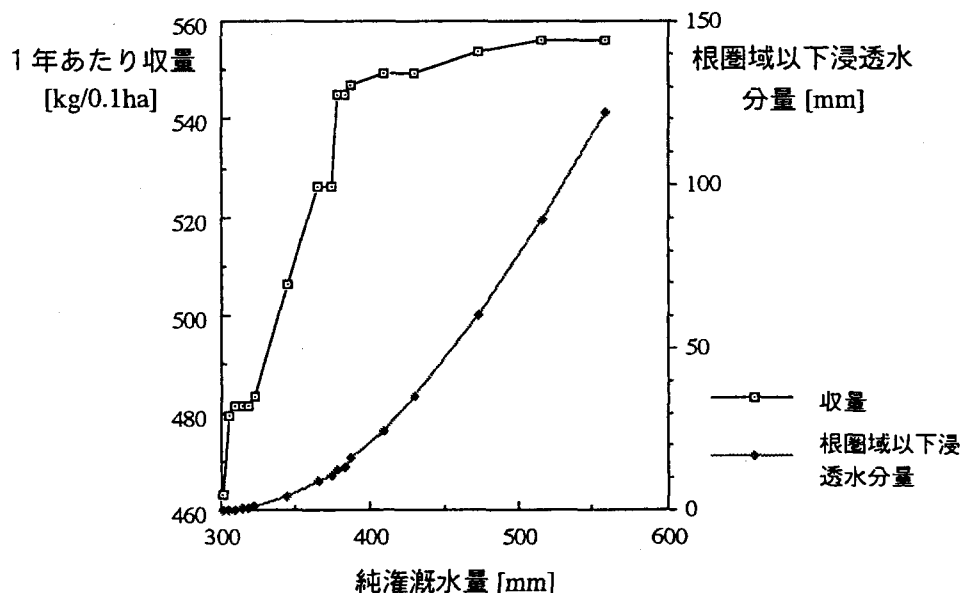


図4-4：灌漑水量に応じた1年あたりの収量と根圏域以下浸透水分量

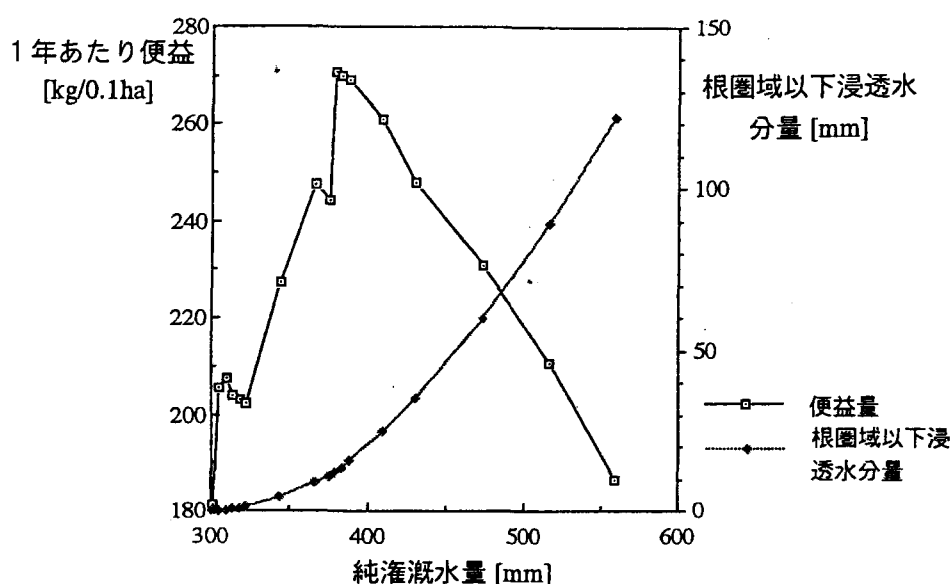


図 4-5：灌漑水量に応じた1年あたりの便益と根圏域以下浸透水分量

表 4-5：各灌漑戦略によってもたらされる  
1年あたりの収量，便益，及び地下浸透水分量の予測値

| 灌漑戦略 | 1年あたりの収量<br>[kg/0.1ha] | 1年あたりの便益<br>[NIS/0.1ha] | 1年あたりの地下浸透<br>水分量[mm] |
|------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 戦略 1 | 544.91                 | 270.80                  | 12.4                  |
| 戦略 2 | 481.45                 | 207.60                  | 0.1                   |
| 戦略 3 | 553.72                 | 231.07                  | 60.3                  |

注) “NIS” は New Israeli Shekel の短縮形で，1994 年において 1[NIS] ≒ 35 [yen].

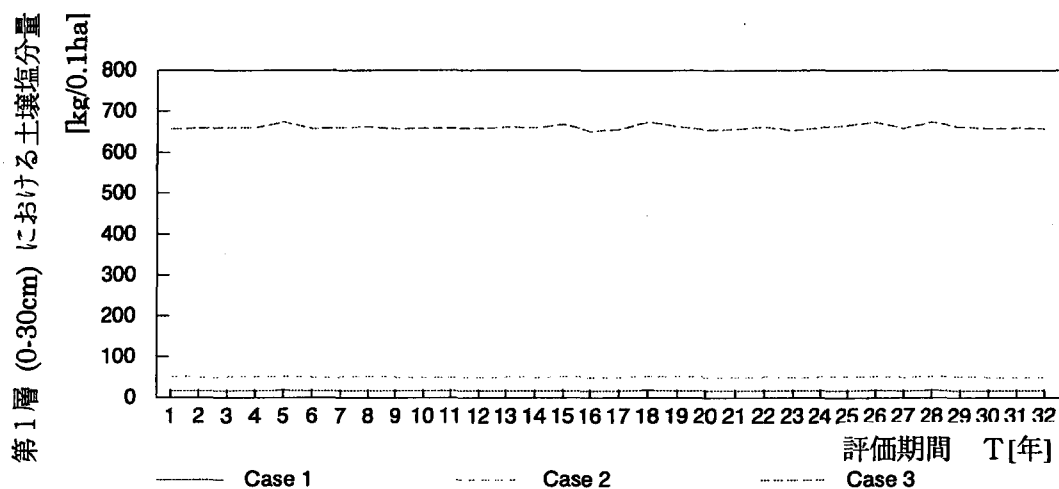
## 第5節 塩分収支モデルの構築と適用による灌漑戦略の考察

### 第1項 塩分収支モデルの構築による帰結

本章の目的の一つは，塩分収支モデルの構築による，灌漑農業の背後に存在する二つの競合した目的間のトレードオフ関係の定量化にあった。ここで，対象としてきた塩類集積は発生する場所により以下の2種類のものに分類される。

一つ目は圃場内の塩類集積である。根圏域内の塩分濃度の変動状況は式(4-1)によって計算される。根圏域内の塩分濃度の塩類集積としての影響は，ダミー変数 $\Theta$ の導入と式(3-11)における収量の現象として，綿に関しては計算される。冬小麦の収量の減少程度は，精度の低い単純な予測という形でしか反映されていない。しかし，以下によりこの精度の低さは，圃場内の塩類集積被害の評価には本質的に影響を与えないことが示された。予備的検討により，灌漑水の塩分濃度を操作することで土壌内塩分濃度をコントロール

し、注目に値するだけの収量の減少を防ぐことが容易であることが示された。これは、結果として、暗渠排水施設の導入を仮定していることと、ある程度以上十分な降水が存在することに起因しているため、と推察される。土壌内塩分濃度を規定する全ての外生変数と操作変数に、ありうる最も望ましくない値を与えた場合、土壌内塩分濃度は、灌漑水の塩分濃度に従ったある一定の値に収束することが示された。これは、図 4-6 に示されている。このことから、塩分収支計算を加えて塩分収支モデルを構築したことは、塩類集積被害の予測に関するより精度の高い情報をほとんど与えない、ということが、それ自体は塩分収支モデルの構築によって得られたことであるが、示された。この限りにおいて、圃場内塩類集積被害は主に排水施設の導入に関連する費用に集約される、ということもまた示された。



注) —Case1, 2, 3 は灌漑水の塩分濃度として3つの異なる値を与えた場合の変動を示す。それぞれ、塩分濃度は100, 300, 4260 [Cl ppm]である。それぞれ、理想的水質、現実にイズリル谷で用いられている水質<sup>7)</sup>、作物栽培が可能な最悪の水質<sup>11)</sup>、を代表している。  
 —その他の「作物栽培が可能な範囲での最悪の値」としては、Cのみの作物年配列、7000 [Cl ppm]の初期土壌塩分量、圃場容水量の値の初期土壌水分量、灌漑戦略s3を与えた。

図 4-6：塩分濃度関連変数に作物栽培が可能な範囲で最悪の値を与えた場合の第1層 (0-30cm) における土壌塩分量の32年にわたる変動

塩類集積形態のもう一方の範疇は、圃場外での排水に伴う下流域での塩類集積である。下流域での塩類集積については、その発生の程度を評価するシミュレーションを第6章で行うが、本章では、その発生の潜在性を示す根圏域以下の、つまり地下水層に累積する塩分量 ( $DP_c$ ) を最終評価対象変数の一つとし、その計量を行った。

以上、塩分収支モデルは NPV と  $DP_c$  を最終評価対象変数とし、その計量を行うことで、既述のトレードオフ関係の定量的表現を可能にした。

## 第2項 操作変数の操作による各代替案の優劣比較

以下では、操作変数の操作による二つの最終評価対象変数、NPV と  $DP_c$  の変動の様子、特に NPV の変動と、それに伴う各代替案の比較・検討、各変数間の関係性についての考察を行う。

第3節で記したように、その変数の操作が異なる状況のシミュレーションを行うことに相当する操作変数は、灌漑水量  $Q$ 、灌漑水の塩分濃度  $co$ 、自然排水量  $nd$ 、作物年配列 CYS、割引率  $r$  と評価期間  $T$  である。操作変数の操作にあたっては、第3節で触れた  $I_{ET}$  の他、表 4-1 に示した各操作変数の標準設定値に基づき、一変数を操作するときは基本的に他を標準設定値に固定した。

操作する操作変数のうち、灌漑水の塩分濃度  $co$  は塩類集積の防止・軽減に重要な変数ではあるが、前項に記したようにその操作とその結果の関係は図 4-6 に示したような単純なものである。 $co$  の操作による NPV の変動も同様に単純なものであるので、ここではその提示を省略する。標準設定値はイズリル谷の現状<sup>3)</sup>を踏まえ、300 [cl ppm]と仮定した。

シミュレーションでの作物年配列 CYS に相当する輪作形態は、イズリル谷では現実には将来にわたって固定されず、各年の便益や連作障害の防止等を考慮しながら、綿と冬小麦の他、アルファルファ、トマト、西瓜等の作物の輪作を各年ごとに決定しているのが実状である。この研究の枠組みの中では、CYS の中に C がどれくらい頻繁に含まれるかということが、NPV 比較において有意である。C がより頻繁に現れる場合、各灌漑戦略の NPV の差はより大きくなるが、それ以上の効果はない。従って、標準設定としては CW を仮定した。また、CYS を変化させた場合の NPV の変動は単純である<sup>7)</sup>ので、その提示は省略した。なお、CW とは、一年の C について一年の W を行うという2年のユニットを将来にわたって続けるものである。

灌漑農業の長期的効果を評価するには、異なる評価期間に対応する NPV と  $DP_c$  の変動に着目することが重要である。図 4-7 は異なる評価期間  $T$  に対応する NPV の変動を示したものである。既述のように、グラフ上の値は10回のシミュレーションの平均値を示しているので、平均値からの標準偏差をエラーバーとして示した。同様に、図 4-8 は異なる評価期間  $T$  に対応する  $DP_c$  の変動を示したものである。双方ともに32年以降では、注目に値する変動は見られなかったので、将来価値の割り引きの効果を含め長期的効果を検討する意味でも32年を標準設定値として設定した。

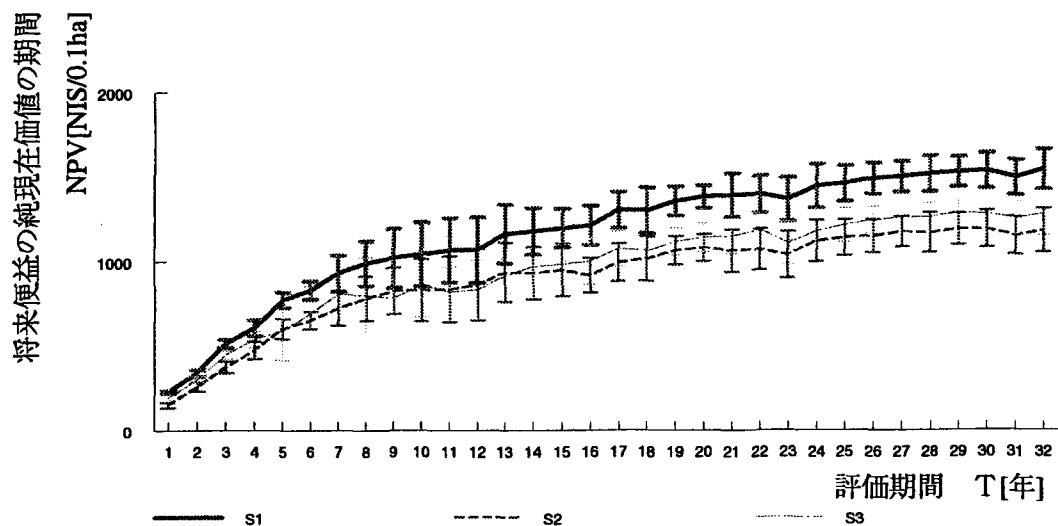


図 4-7：標準設定値の下での異なる評価期間(T)に対する  
各代替案の長期的便益の純現在価値(NPV)の変動

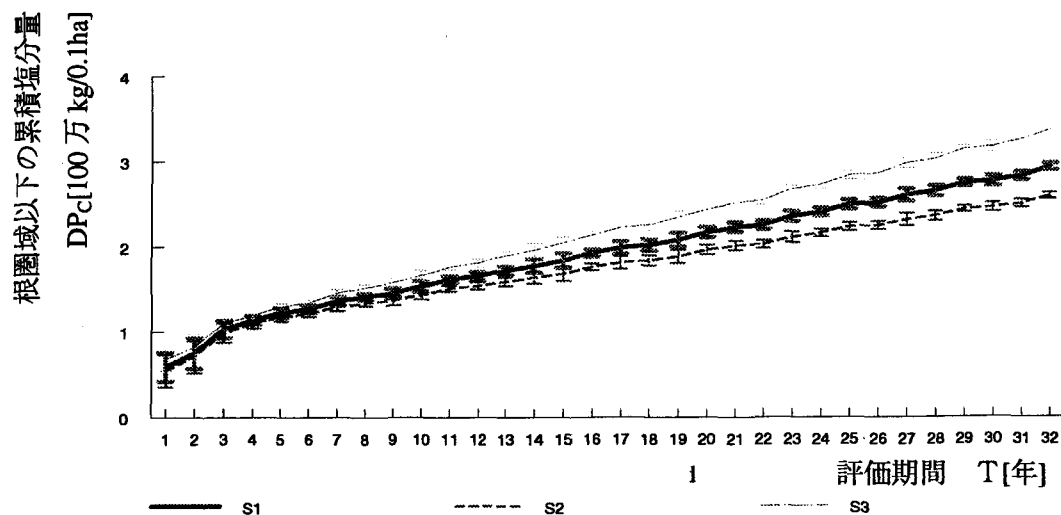


図 4-8：標準設定値の下での異なる評価期間(T)に対する  
各代替案の長期的便益の根圏域以下の累積塩分量(DP<sub>c</sub>)の変動

図 4-7 においては、評価期間 4 年～14 年にかけて s2 曲線と s3 曲線が互いに交差している。これは、排水施設の導入時期が異なり、その費用発生の時期が異なるためである。図 4-7 が示す、貨幣価値における全体としての s1, s3, s2 の順の優劣関係は、異なる CYS においても同様の結果を示した。一方、図 4-8 は、非貨幣価値における全体としての s2, s1, s3 の順の優劣関係を示す。言い換えれば、下流域や対象圃場周辺域での将来における塩類集積発生の潜在性が s2 で最も少ないことを示している。著者の予想に反し、

圃場内の塩類集積の防止費用という、経済的外部性の一部を内部化した後でも、貨幣価値に関する s1 の絶対的優位性が示された。予備的検討として同様のシミュレーションを第3章で示した実験圃場ギラットに関して行った場合は、貨幣価値に関しても s2 の s3 に対する優越が示された<sup>7)</sup>。つまり、s3 の s2 に関する貨幣価値上の優越は土壌・気象条件に左右される程度のものであった。

割引率  $r$  は、評価期間  $T$  同様、長期的効果を見る上で重要な操作変数である。 $r$  と  $T$  の値は意思決定主体の選好によって決定される必要のあるものである。その値の設定に関しては倫理的経済的に、理論的に種々の問題があり、活発に議論されている課題の一つである。この点については第5章で詳しく検討するが、ここでは異なる割引率の値に対する結果群を提示する。なお、灌漑施設等の資本ストックは  $t=0$  において初期条件として与えられるものとした。また、割引率の標準設定が必要な場合は、イスラエルの名目利子率に基づき 10%<sup>7)</sup> を与えた。図4-7はその場合の標準的結果であったのに対し、将来価値に、よりプライオリティーをおき、割引率を4%とした場合の、NPV の  $T$  の変化に応じた変動を図4-9に示す。更に、 $T$  の値を標準設定値に固定し、 $r$  の値を変化させた場合の NPV の変動を図4-10に示す。図4-9は図4-7と、NPV の大きさは違ったが、全体の傾向は同じであった。

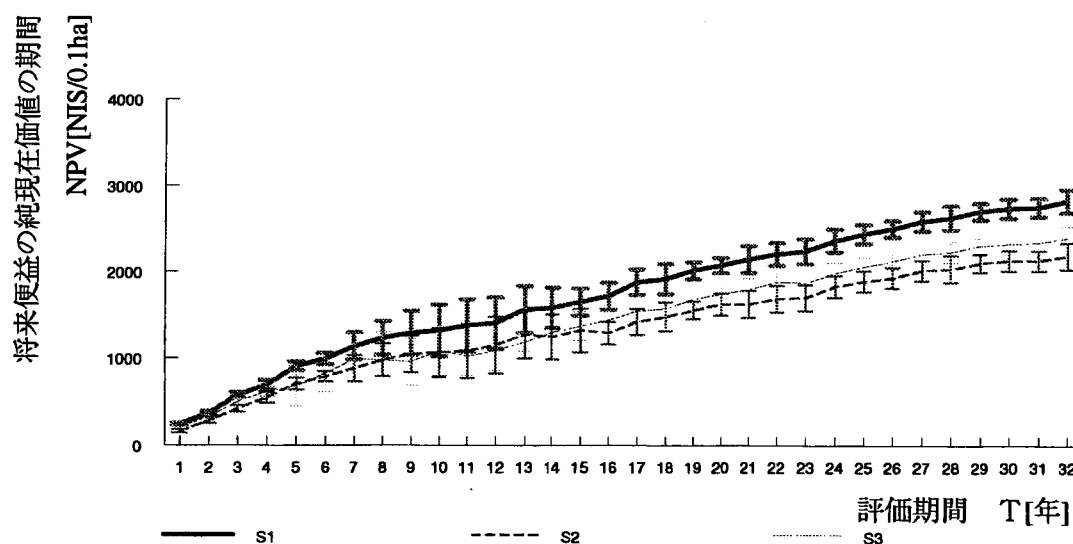


図4-9：割引率( $r$ )を4%とした場合の（他の変数は標準設定値）異なる評価期間( $T$ )に対する各代替案の長期的便益の純現在価値(NPV)の変動

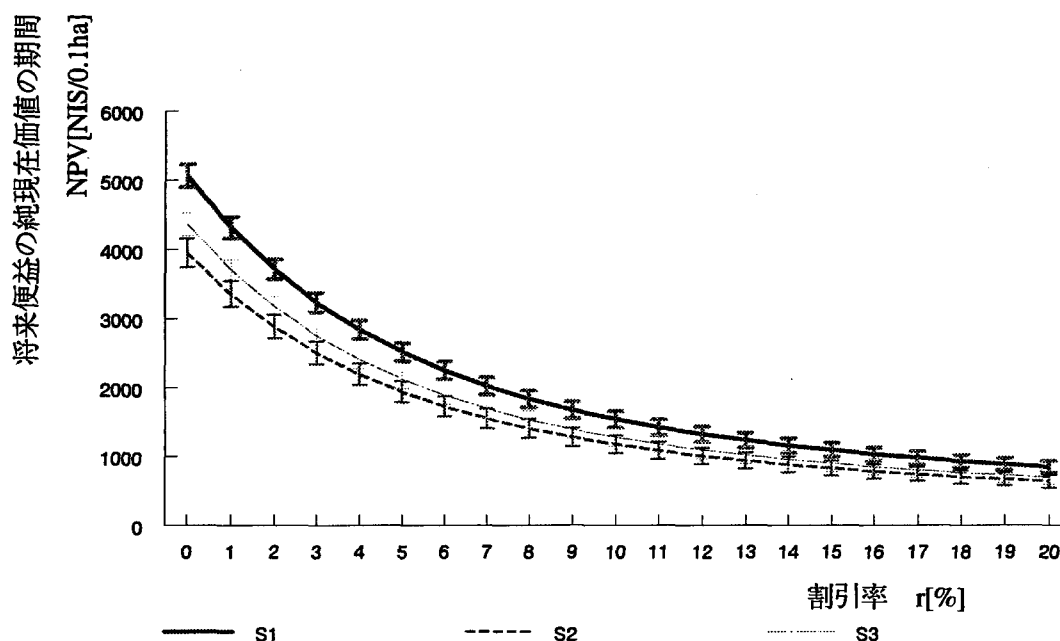


図 4-10：標準設定値下での異なる割引率(r)に対する  
各代替案の長期的便益の純現在価値(NPV)の変動

地下水層からの水平方向への年間あたりの自然排水量  $nd$  に関しては、現実を考慮し標準設定をまずゼロと仮定した。図 4-7 において  $s1$  はこの条件下で優越性を示していた。図 4-11 は、同様に  $nd$  を 50mm と設定した場合の、NPV の  $T$  の変化に応じた変動状況を示す。 $nd$  として仮定した 50mm は、 $s3$  における下方浸透水分量より少なく、 $s1$  と  $s2$  のそれより多いものである。この場合でも、 $W$  年の降水によって生じる下方浸透水分量のため、 $s2$  の相対的劣性は変わらない。様々な異なる  $nd$  の値に関する予備的検討によっても、各灌漑戦略の NPV の、32 年までとした評価期間内での優劣関係はさほど変わらないことが示された。

そこで、 $nd$  と  $T$  の相互関係を調べ、図 4-12 に示した。特定の  $T$  において、 $nd$  を変化させた場合の NPV の変動を観測すると、 $nd$  が一定量以上の値を過ぎ、排水施設が導入された後、NPV は一定値に収束する。この収束する点が、いわば排水施設の導入を決定づける  $nd$  の閾値である。図 4-12 はこの閾値の軌跡を、各灌漑戦略ごとに  $nd$ - $T$  平面に示したものである。閾値の軌跡を示す各曲線の間隔は、 $nd$  の値に比してあまり大きくない。これはつまり、貨幣価値評価において  $s2$  が優越性を示す範囲が小さいことを示している。言い換えれば、各年の便益を下げても地下水面を維持しようとする灌漑戦略がもたらす長期的便益が、短期的視野しか持たない  $s1$  や  $s3$  の様な灌漑戦略のもたらす長期的便益を上回る可能性があまりないということである。

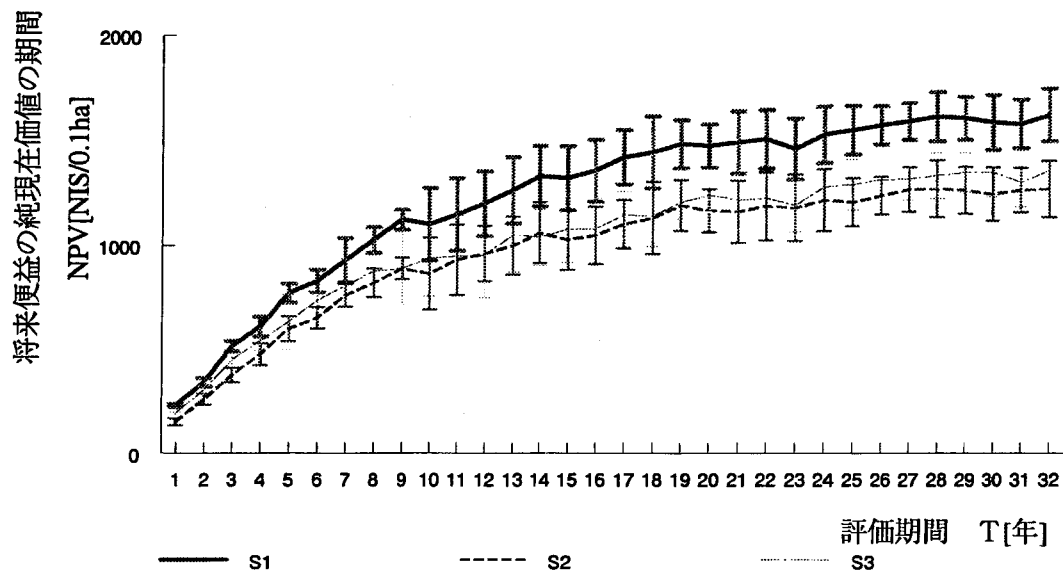


図 4-11：自然排水量(nd)を 50mm とした場合の（他の変数は標準設定値）  
異なる評価期間(T)に対する各代替案の長期的便益の純現在価値(NPV)の変動

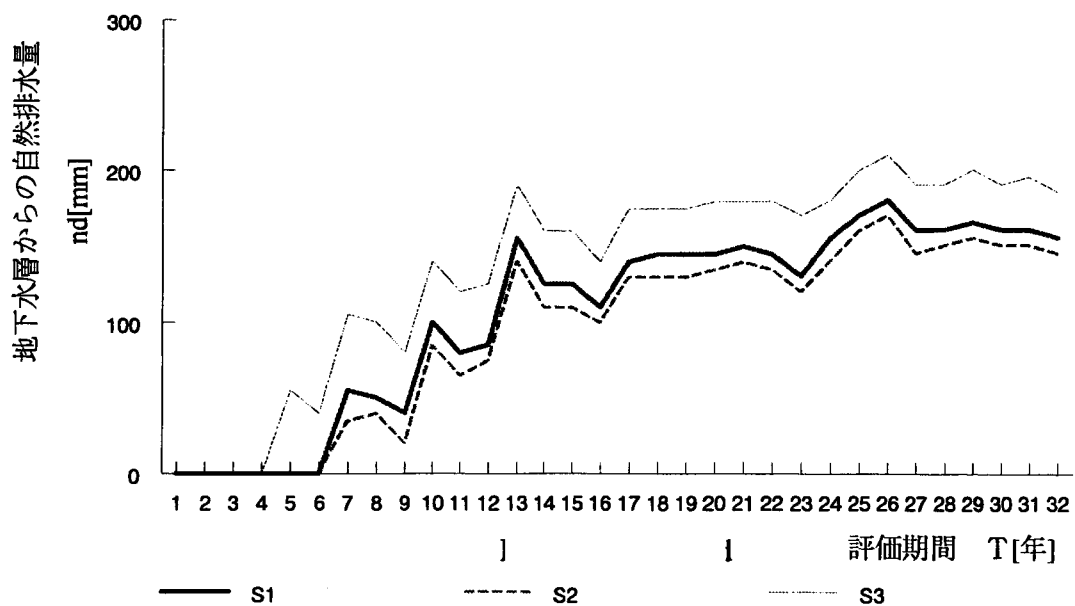


図 4-12：標準設定値下での異なる評価期間(T)に対する  
排水施設導入のための各代替案ごとの自然排水量(nd)の閾値

## 第6節 本章の結論

以上、本章では、第3章で構築したモデルを拡張し、根圏域内、および地下に累積する塩分の効果を考察するために塩分収支モデルを構築すること、及び、実際に塩類集積のあるイズリル谷のキブツサリドの圃場に本モデルを適用し、当該圃場における灌漑農業の持続と農業収益の追究という競合する目的の間で意思決定が可能なように情報の整理を行うことを目的としてきた。

本章の結論として以下の6点が挙げられる。

1. 塩分収支モデルの構築により、圃場内の塩類集積被害は主にウォーターロギングとして発生するものであり、本章の枠組みでは、根圏域内の土壌塩分自体の蓄積は灌漑水量の塩分濃度の操作によって簡単に操作できることであるということが示された。
2. 水分収支モデルの拡張としての塩分収支モデルをイズリル谷に適用したことにより、塩分収支計算と冬小麦の収量予測方法を除いたモデルの中核は、他の圃場にも適用可能な、汎用性を持ったものであることが示された。
3. 両モデルに共通なモデルの中核が用意されたことで、他の圃場に適用するために必要なデータ群の特定が容易である。
4. 灌漑戦略比較にあつては、s3の絶対的劣性が確認された。
5. 貨幣価値に限った灌漑戦略の比較では、ウォーターロギング防止の排水施設導入費用を内部化したにも関わらず、s2の劣性が確実に示された。
6. 貨幣価値と非貨幣価値を併せた灌漑戦略の比較では、s1とs2の優劣関係については意思決定主体の選好なしでは判定が不可能であるが、意思決定主体が意思決定のできるような情報の整理をした。具体的には以下の3点を示した。
  - 6-1. 図4-7と図4-8の一組により、貨幣で表現される便益と下流域・周辺域に塩類集積を及ぼす潜在性との間のトレードオフ関係を、異なる評価期間ごとに示した。
  - 6-2. 図4-10により、異なる割引率ごとの貨幣で表現される便益を示した。
  - 6-3. 図4-12により、評価期間ごとに、排水施設を導入するに値する自然排水量ndの閾値を示した。

今後の課題としては以下が挙げられる。まず、根圏域内でウォーターロギングが進行中の現実の圃場での、水分・塩分収支状況は未解明であるが、イズリル谷の灌漑農業に関する長期予測としては、冬小麦の収量予測法の精度の向上が望まれる。イズリル谷においては、根圏域以下の累積塩分が排水とともに溜め池に廃棄され、灌漑用水として再利用されている。これは、将来、もしくは下流域へ塩類集積を確実に移転しているものであり、これらを内部化するような評価が望まれる。例えば、塩分収支モデルを3次元的水分・塩分収支シミュレーションに拡張することで、より正確な、当該圃場における灌漑農業の長期影響予測が可能となる。また、根圏域以下の累積塩分、つまりは排水として廃棄される塩分の将来・下流に及ぼす効果の評価については、一つの方法を第6章

で示す。更に、これまでは経済評価の枠組みの精緻化を保留してきたが、第5章において詳細な考察を行う。

【参考文献】

- 1) Adar, E., Issar, A., Sorek, S. and Gev, I. (1992) Modelling of Flow Pattern in a Shallow Aquifer Affected by Reservoirs, *Transport in Porous Media* 8:1-20.
- 2) Kusumi, A. and Morishita, T. (1998): Construction of Water and Salt Balance Simulation Model to Forecast Long Term Effect of Irrigation Agriculture, 沙漠研究 8-1, 日本沙漠学会, pp.47-60
- 3) Livne, A. (1992) Sequer Melichut (Research on Salinity) Palgei Maim co.,ltd. (in Hebrew)
- 4) Agricultural Ministry of Israel Extension Service "Crop Budgets" (Unpublished data)
- 5) 久馬一剛 他著 (1984) 新土壌学 朝倉書店
- 6) Bresler, E., McNeal, B.L. and Carter, D.C. (1982) *Saline and Sodic Soils* Springer-Verlag 236p.
- 7) 楠美順理 (1995) 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― 筑波大学修士論文
- 8) Strateener, G., Yaron, D., Bresler, E. and Shimshi, D. (1975) Simulation Model for Evapotranspiration of Wheat: Effect of Evaporative conditions, *J. irrig. Drain. Div. ASCE*, vol101, No.1R1, Proc. Paper11169, March, 13-19
- 9) Agricultural Ministry of Israel (1990) Hashukaya ve Dishshun Kotuna (Irrigation and Fertilisation in Cotton Cultivation) (in Hebrew mimeo)
- 10) Kusumi, A. Morioka, T. and Morishita, T. Cost Effectiveness Analysis to Abate Waterlogging and Salinization in Yizreal Valley of Israel, 環境科学会誌 (投稿中)
- 11) FAO (1989) *Irrigation and Drainage Paper 29, Water Quality for Agriculture*, FAO, 164p.

## 第5章 持続的環境利用目的の意思決定のための枠組みの考察

### 第1節 本章の目的

前章まででは、社会科学的評価の枠組みを単純な形に保留したままで、2つの圃場に関する費用便益の計量を可能とするモデル構築と、イスラエルのイズリル谷における費用効果分析を行った。以下、本章では、第2章で提示した灌漑農業の背後に存在する、灌漑農業の持続と農業収益の追究という二つの競合した目的間におけるトレードオフ関係の評価を念頭に、持続的環境利用目的の意思決定のための社会科学的評価の枠組みについて、相応しい形態、望ましい形態についての考察を進める。

本論文で、これまで単純な形とはいえ評価手法として用いてきた費用便益分析は、そもそも意思決定のための道具である。持続可能な開発のための、環境問題の解決のための意思決定は、本論文で一貫して扱っている中心課題の一つである。

意思決定に関しては、「経済的効率性が高い状態で、かつ公平な形でなされるべきである」という考え方が、現在、世の主流を占めている（例えば、地球温暖化問題に関する取り組みの代表的なものであるIPCCの報告書<sup>1)</sup>を参照のこと）もので、また著者も、大枠で賛同しているものである。個人の意思決定では、意思決定主体は合理的にその効用を最大化する。これが経済学の教えるところである。経済学では、合理性に関して、「消費選択に際して、欲望を一つの価値観（嗜好・趣味）のもとで秩序づけ、自らの欲望充足に関して、最も望ましいように選択し消費する場合、これを経済学的（合目的）合理性とよぶ。」<sup>2)</sup>と定義している。「欲望」「一つの価値観」等の定義がされておらず、曖昧さは残されているが、この定義に従った「秩序づけ」のための取り引き費用までを含め、更に「消費」を貨幣取引以外の範囲まで拡張して考えた場合、理念的に「合理的であること」または、「経済的に効率的であること」は個人の意思決定に際して望ましいものと思える。（例えば、意思決定をするのが面倒、つまり取り引き費用が高いので意思決定をしない、という意思決定が合理的であるというもののまでを含む。）むろん、異なる立場も可能だろうが、以下この論文では、この立場を基に以下を展開する。この仮定を採用することは、伝統的な経済学の消費者行動理論に従うことになり、意思決定に際しては、経済的効率性というものが極めて重要になる。次に、多主体による意思決定では、よほどの例外を除いて、利害の対立が一般に観測される。その調整のためにあるのが、倫理であり、公正さ、もしくは公平性概念であろう。ここでも、これを採用しないという立場もあろうが、以下ではこの立場を基に以下を展開する。

問題は、持続的環境利用という目的が、効率的で公平な意思決定と共存しうるか、ということにある。上述した公平性が異時点間にわたっても存在し、各主体が完全に合理的であれば、環境の持続的利用は自然に達成される、もしくは達成しなければならないという環境関連諸分野の問題意識自体が消滅する。

そもそも、科学一般は特定の主義・主張に偏ることは望ましくないと捉える。しかしながら、昨今の環境問題解決のために確立されつつある環境科学、環境工学、環境経済

等は、定義、解釈が研究者によってまちまちなものの、大前提として「環境問題の解決」という主張を含んでいるため、その解釈や、帰結として、研究者ごとに主義・主張、もしくは立場に違いが出ることはやむを得ない。立場の違いが論理的帰結かが微妙なところまで含め、最終的には異なる多くの立場を、不連続なりに操作変数化し、総合的検討をすることが望ましい。しかし、ここでは著者の立場と論理的帰結の整理をし、将来的課題への布石にとどめる。

以下、本章では、経済的効率性と公正・公平性を中心に、環境の持続的利用のための意思決定の妥当な姿、およびそのための評価研究枠組みの妥当な姿について、考察を進める。第2節では経済学的効率性について、第3節では公正・公平性概念について、それぞれ諸理論を整理し、試案を提示する。異時点間にわたる公平性は、むしろ公正さ・公平性の議論に含まれるものであるが、特に分割し、第4節で行う。更に第5節では、これらを参考に、意思決定のツールとして用いられる費用便益分析、費用効果分析、多基準分析等に関して、持続可能な環境利用評価に相応しい枠組みの姿を検討する。第6節では、結論として、現在我々が行いうる、持続可能な環境利用評価に相応しい意思決定の枠組みについて総合的整理を行う。

## 第2節 経済的効率性

一般に、経済的に効率的であるということは、主体が合理的であるという仮定の下で、パレート効率であることを指している。ここで、合理的とは、「消費選択に際して、欲望を一つの価値観（嗜好・趣味）のもとで秩序づけ、自らの欲望充足に関して、最も望ましいように選択し消費すること」であり、以下のように定式化される。

Max 効用

s.t. 制約条件群

また、パレート効率とは「資源を生産過程に投入し、その結果として産出された財を社会の中の個人に分け与える配分において、どのような他の配分よりも、全ての個人の状態を同時に改善できることが存在しない状態」を指す。

このような定式化のもとで、以下を検討項目として挙げる。

- 一. 合理的であるための十分条件
- 二. パレート効率の実現可能性
- 三. 経済的効率性と持続的環境利用の両立可能性

奥野・鈴木<sup>3)</sup>は、資源配分メカニズムの妥当性の検証項目として、「配分の効率性」・「配分の公平性」・「情報伝達の機能」・「誘因体系の整合性」の4点を挙げている。「配分が効率的である」とは、具体的にはパレート最適、またはパレート効率のことを指している。このような効率的な配分は一般には無限に存在し、配分の正義によって、望ましい分配方法が選択される。これが第二点目の検証項目「配分の公平性」であるが、これについては次節で検討する。資源配分メカニズムにとって基礎的与件と考えられる技術・生産資源・嗜好等は、社会内で分散している。従って、情報を持つ主体からそれ

を必要とする主体へと、敏速・正確かつ効率的に、必要な限りでの情報を伝達する能力が、資源配分メカニズムに要求される。これが「情報伝達の機能」として前掲書に挙げられているが、ここでは不確実性と合理性の条件として、それぞれ第5節と次段落で論じる。第4点の「誘因体系の整合性」は、考察の対象とするメカニズムが、個々の経済主体に対してそれぞれの潜在的な能力を最大限に、そして自発的に発揮させ、メカニズムが期待する行動を適切にとるように動機づけうるような誘因体系を備えているかどうか、という検証項目であるが、それ自身困難な課題である上に、本論の中心課題からそれるので、ここでは検討から除外する。例えば、Arrow and Hurwicz<sup>4)</sup>を参照されたい。

さて、経済学は合理性を十分妥当に扱ってきただろうか。例えば、第一節で触れたように、いわゆる面倒くささを取り費用として貨幣換算してきただろうか。合理性を厳密に満たすための十分条件については、Simon<sup>5, 6, 7, 8)</sup>の行った考察が注目に値する。Simonは意思決定主体の認知能力の限界(cognitive limit)を指摘し、前節で定義した合理性をより精緻に定義し直し、表5-1の三条件を満たすときに、はじめていわゆる合理性、(厳密には超合理性と定義)が達成される、とした。

表 5-1：超合理性を満たすための十分条件

- |                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 目的を実現すると思われる代替的行動を全て列挙する。</li> <li>2) 各案のもたらす将来の結果を確実に推定する。</li> <li>3) 目的にとって最適の結果をもたらすような最適の代替案を基準的価値体系にもとづいて選択する。</li> </ol> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

そして、主観的合理性、意図的合理性の判定基準として、最適基準に代わって満足化原理(satisficing principle)を提唱した。これら3点の超合理性の十分条件を満たすことは実質不可能である。

つまり、この限りにおいて、人間の合理性に基づいて環境利用を持続的にすること、もしくは、その問題自体を問題視しなくなることは不可能である。従って、合理的であることと環境を持続的に利用することは、それぞれ別途に評価される必要がある。

一方、既に触れたように、パレート効率の達成が容易な状況は多い。達成が可能な場合、単に容易なだけではなく、パレート最適な状態は一義的ではない。従って、その中で望ましい便益配分として、ただちに公平であることが要求される。単に公平であること、およびパレート効率であることとの両立の可能性、等々については次節で一括して述べる。一方で、パレート最適が達成できない場合に関しては、最適化の系をそのままにしている限り、つまり「次善」という表現ができる形での次善最適(second best)の達成すら不可能であることが、Lipsey と Lancaster<sup>9, 10)</sup>により示された。いすれにしろ、パレート効率であるための仮定として重要な、合理性自体の成立が不可能なので、以下では合理性の検討に論点を絞る。

さて、(超)合理的であるための十分条件を完全に満たすことが不可能であるという制約の下で、環境利用目的に限らず、一般に意思決定のための評価をするには、異なる立場が考えられる。相応しいアプローチの両極として、規範的アプローチ(normative

approach)と事実解明的アプローチ(positive approach)が挙げられる<sup>11)</sup>。前者は、経済問題を解くための制度的仕組みを追究するもので、対象としている問題に対し、不可能なりに可能な程度、可能な限り妥当な条件下で評価をすることに重きを置くものである。後者は、経済制度の運行メカニズムの解明を試みるもので、大胆な想定の下で、しかし経済評価知見の蓄積を利用し、限られた状況についてだけでもできる限り多くの評価をする、というものである。規範的アプローチは文字通り規範的であるが故に、理想的で具体性を欠くことが多い一方、事実解明的アプローチは結果が多くの示唆を含んでいても、採用する仮定が現実と乖離し、現実社会には相応しくない示唆が一人歩きする傾向がある。いずれのデメリットをも克服し、両者のメリットを集積する形が望ましいが、現状ではそれは困難である。以下、環境問題解決目的には規範的アプローチが望ましい、という著者の立場に基づき、仮定や制約条件として相応しいものの検討を行う。

この立場は以下の理由によって設定した。限られた条件下での事実解明的アプローチの結果としての政策提言は、提言をする科学者の意思に関わらず、現実の意思決定の場において、あいまいな解釈の下、条件について拡大解釈されてきた、および、今後拡大解釈される可能性が高いと著者は判断している。この限りにおいて、環境価値、便益配分手法、効用推定等に関し、より限定され、より単純化された系内での情報を科学の帰結として意思決定の場に提供することより、より現実立脚した設定の下でより厳密な情報提供をすることの方が、仮にその情報の質が低くても、次節で述べる手続き上の公正さをより体现している、と判断する。また、二つのアプローチの分類は、単に互いに対しての相対的なものにすぎないため、アプローチの呼称、分類は重要ではないが、従来有用とされてきた経済評価の仮定や手法の安易な適用に慎重であろうとする立場をとっているため、これを規範的アプローチに分類した。

(超)合理性の達成が不可能であることに対し、実際に考察可能な状態としては Simon 自身が限定合理性(bounded rationality)の達成を提唱している。規範的アプローチの採用は、ここではこれをできる限り達成させることに相当する。超合理性達成の十分条件のうち、まず 1)に関しては、全ての代替案の列挙は不可能であろうが、可能な限り多くの定性的検討を行うことが必要である。次章の具体的事例での代替案の立案においては、経験や rule of thumb を含むことは否めないが、その例を展開する。次に、2)に関しては、不確実性の問題として第 5 節に簡単にではあるが後述する。最後に 3)に関しては、社会的選択の合理性はその手続きにある、とする立場から、代替案評価の「基準的価値体系」への無理な統合を止め、妥当な社会的意思決定への情報の整理・提供を行うことで、3)を実際の場合で可能とする基盤整理をする。3)は公正さに関することでもあり、次節においても取り扱う。

以上、持続的環境利用を目的とした場合の経済的効率性の具体像として、評価対象主体が合理的であるという仮定の下でパレート最適を達成させること、という特に事実解明的アプローチで多く採用されるものに代え、以下を提唱し、少なくとも本論では枠組みとするよう努める。

1. 評価対象主体が合理的である、もしくは超合理的である、ということは不可能であるので、ある種の限定合理性を仮定する。具体的には、
  - 1-1. 評価枠組みの設定において情報の完全性の達成を妥協する際は、妥協の優先順位を明確にする。従来、第一プライオリティーは評価の容易さに置かれることが多かったが、目的としている持続的環境利用に第一プライオリティーを置く。
  - 1-2. 意思決定は、多くの場合便益配分を内包するため、第二プライオリティーを次節で触れる公正さに置く。ここでは、より多くの立場の並列をするということを、手続き上の公正さの実現のための一要因と見なしているが、この文脈で公正であろうとすること自体が、一つの立場の主張になりうる、という構造的な問題を含んでいるため、論理的帰結としては意見が分かれかねない。その限りにおいては、著者の立場である。
2. 社会的意思決定機構としては民主主義が完備されている、もしくは社会的に認められている制度が完備されていると仮定し、それを所与とする。これは、後述する手続き上の公正さを達成するために、また、情報整理プロセスと意思決定プロセスを分離するために必要な仮定である。
3. 代替案選択は意思決定主体に任せ、そのために、評価研究としては情報の整理のみを行う。従って、効用関数に代表される主体の価値体系のモデル化、抽象化作業は行わない。
4. 伴って、満足化原理の達成は、研究により提供される情報に基づいて現実の意思決定の場では行われても、評価研究内で明示的に意思決定基準としては用いない。
5. 以上をふまえ、「満足化原理」を満たす変数として妥当な変数の定量化を、妥当な単位のまま、意思決定主体が判断可能な形で図る。妥当な変数の選定・選別、および、それらの統合にあたっては1と同様のプライオリティーに従い、定性的評価を添える。

以上は、超合理性の実現等、理論的に達成の不可能なことを目的にしているのではなく、評価枠組みの設定に関して、持続的環境利用を目的に、規範的なプライオリティー順位の整理を行ったものである。従来のアプローチに比べ、以上をより反映するよう少しずつアプローチを規範的にすることが、評価研究の発展には現実的で、次章ではその試みを展開する。

### 第3節 公平性、あるいは公正さ

#### 第1項 衡平性と公正さの定義

前節では、環境の持続的利用目的のための意思決定に際し、経済的効率性の達成を鑑み、合理性と最適状態の達成に関して整理した。効率性は便益配分に関連し、公平性と分離しがたい。よって、以下では、公平性概念について整理する。

公平性概念とは、小学校レベルの道徳概念として誰もが耳にする言葉であるにも関わ

らず、その具体的な姿については、現代の哲学、倫理学によっても統一した概念がないのが実状である。

公平性の概念自体を検討する前に、以下では関連用語を整理する。まず、国内外の議論を統一するために、英語に対する日本語の対応を検討する。英語では、関連する用語として、justice, fairness, equity, equality 等が挙げられる。哲学的概念自体が不明な用語に、二カ国語間で一对一の対応をつけること自体が不可能な作業であるが、著者はそれぞれの訳語に、正義、公正、衡平、平等を挙げる。以下にその根拠を示す。

まず、手元にある国語辞典<sup>12)</sup>には、関連する意味としてそれぞれ以下の説明がある。

|    |                                                                        |
|----|------------------------------------------------------------------------|
| 正義 | ①正しい同義。人が従うべき正しい道理。②他者や人々の権利を尊重することで、各人に権利義務・報酬・制裁などを正當に割り当てること。公正。公平。 |
| 公正 | かたよりなく平等であること。公平で正しいこと。また、そのさま。                                        |
| 公平 | どれにもかたよらず、すべてを同じように扱うこと。また、そのさま。えこひいきをしないこと。                           |
| 衡平 | ①つりあうこと。平衡。②《法》一般的規定である法を、その適用において具体的事例に適するように修正すること。                  |
| 平等 | 差別なく、みなひとしなみであること。また、そのさま。                                             |

他、以下の議論に参考にした文献では、それぞれ表 5-2 にまとめたような説明、定義がされている。議論に余地が残されているかもしれないが、justice=正義, equality=平等については確立されたものとする。

表 5-2：公平性関連用語の英語と日本語の対応

| 解釈者                            | Justice                           | fairness                                                | Equity                                               | equality           |
|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------|
| 小西友七他 <sup>13)</sup> (手元の英和辞典) | 正義, 正直, 公正, 正当さ, 妥当性, 合法性, 同義, 節操 | 公平, 公正                                                  | 公平さ, 公正, 公明正大, 《法》衡平法                                | 平等, 均等, 等価, 対等, 同格 |
| 岡 <sup>14)</sup>               | ——                                | ——                                                      | 衡平, パレート基準以外の全ての福祉基準. (p10)                          | ——                 |
| 奥野・鈴木 <sup>15)</sup>           | ——                                | “fair allocation” 公平配分. パレート効率性基準と衡平性基準を満たしたもの. (p.355) | “equitable allocation” 衡平配分. 誰も他人に羨望を持たない状態. (p.354) | —— <sup>注1)</sup>  |
| 田中 <sup>16)</sup>              | 正義                                | 公正                                                      | ——                                                   | 平等                 |
| 天野 <sup>17)</sup> (流布しているイメージ) | ——                                | 公正, 公平                                                  | 公平                                                   | ——                 |
| 著者                             | 正義                                | 公正                                                      | 衡平                                                   | 平等                 |

注1) “egalitarian-equivalent allocation” を「平等=等価配分」としている。

注2) それぞれの文献からは、より関連の深い記述だけを抽出、引用した。

主な問題は、fairness, equity と公正、公平、衡平の対応にある。まず、fairness について。いわゆる公平性論議で、ニーチェ型、パレート型、ベンサム型と並び称される Rawls は、“Justice as Fairness”を同名の論文で延々と論じている。邦訳の書<sup>16)</sup>では、法学者が同書を「公正としての正義」と訳している。つまり、fairness は公正と訳されている。一方、奥野・鈴村<sup>15)</sup>は、まず、パレート効率性(efficiency)基準と後述する衡平性(equity)基準を厳密に区別した上で、その書に限った表現としてではあるが、efficiency と equity の両者を満たす配分として、公平配分(fair allocation)を定義し、具体像の見えないその公平配分について、検討を続けている。ここで、具体像が見えないなりに議論が続けられている公平配分は、ちょうど Rawls が追究している fairness と概念レベルで同位のもので、いずれも efficiency と equity を統合しようとする上位概念である。以上から、本書では、fairness を Rawls が公正さとして論じている概念レベルのものとする。

次に、equity について整理する。昨今の環境問題に対する政策論で注目されているのは、「効率性と公平性」であり、“efficiency and equity”である。この文脈では、国内の equity 解釈は「公平性」になっているように思える。しかし、例えば、天野<sup>17)</sup>での具体的な検討は、後述するように Rawls<sup>18)</sup>において fairness に含まれる手続き上の問題を equity に含める一方、場合によっては、efficiency の対立概念としての“公平性”に相当する語を equity としており、Rawls との違いが際立っている。つまり、原文 (Banuri, et.al.)<sup>19)</sup>での equity の概念レベルが Rawls のものとは異なっている<sup>注1)</sup>。一方、奥野・鈴村<sup>15)</sup>、そして岡<sup>14)</sup>はそれぞれの書で、「衡平性」と対応させている。奥野・鈴村では、衡平配分(equitable allocation)として、「誰も他人に羨望を持たない配分」を挙げている。上述したように、これは、efficiency と対をなす純粋な経済的基準として扱われている。また、岡では、Mishan, E., J. 解釈として、「パレート基準以外の全ての福祉基準」を挙げ、同様に efficiency と対をなす純粋な経済的基準として扱っている。経済学を中心課題としていない Rawls では、equity についてはほとんど述べられていない。以上、equity に関しては、日本語との対応を検討する以前に、英語の equity 自体の概念が論者によって著しく異なることがわかる。本書では、fairness との差を明確にするためにも equity を奥野・鈴村の定義する衡平性として採用する。

以上、昨今論じられてきたいわゆる公平性は、fairness と equity の両者の境界をあいまいにしたまま用いられてきたものであり、以下では「公平性」は基本的に用いない。

さて、奥野・鈴村の衡平性は具体的には以下のような定義である。n 人の消費者によって、与えられた財の総量を交換する経済において、m 種類の財が存在し、財の総存在量が  $w \in \mathbf{R}^m_+$  ( $i = 1, \dots, n$ ) で与えられている状態を考える。配分  $x = (x^1, \dots, x^n)$ ,  $x^i \in \mathbf{R}^m_+$ ,  $\sum_n x^i = w$  に対して、

$$u_i(x^i) \geq u_j(x^j) \quad (i \neq j; i, j = 1, \dots, n)$$

ここで、m: 財の種類の数 (スカラー)

w: 財の総存在量 (財の種類と数に応じたベクトル)

R: w を代表とするようなベクトルの集合 (ベクトル)

$+$  : 定義域が正であることを示す

$i, j$  :  $n$  人のうちの任意の一人.

$x^i$  :  $\sum_n x^i = w$  であるような量. つまり,  $w$  のうちの  $i$  への配分量 (ベクトル)

$x$  :  $n$  個の  $x^i$  で構成される財の分配状態 (行列)

$u_i(x)$  :  $i$  の効用関数 (スカラー), 変数が配分  $x$ .

が成立する配分  $x$  を衡平配分としている. また, この衡平配分は以下の性質を持っている.

1 : 効用の個人間比較も効用の基数性も不要

2 : 全ての人々を対称的に考慮

3 : 衡平性の判断には個人の私的情報の詳細な収集・解析は不要

定義と性質から明らかな様に, この衡平はパレート効率性とは独立の概念である. また, この定義における効用関数では, その変数として主体自身に配分される財の量とは無関係に, 他者との関係で生じる心理的変数が含まれていない. そのため, 例えば単純な均等配分のように, 衡平性だけを満たすことは可能である. 衡平性を満たすためには, 例えば与えられている資源を配分しないことが望ましい, ということも十分あり得る. 第1節で立場を明確にした様に, 効率性と衡平性が満たされる状態を望ましい状態として追究するため, 以下では, 両者を満たす公正さとしての望ましい概念を整理する.

## 第2項 望ましい公正さの検討

次に, Rawls の定義する公正さを, 紹介, 検討する. Rawls は公正としての正義として, 以下の二つの原理を提唱している.

1 : 各人は, すべての人々に対する同様な自由と相容れるかぎり, できるかぎり広範な基本的諸自由への平等な権利を持つべきである.

2 : 社会的経済的不平等は, 次の2条件を満たすように配列されるべきである.

(a) : [格差原理] 正義にかなった貯蓄原理と相容れる形で, 最も不利な状況にある人々の利益を最大化すること.

(b) : [機会の公正な平等原理] 機会の公正な平等という諸条件のもとで, すべての人々に開かれた地位と職務を伴うこと.

Rawls は, 以上二つの原理を提唱するにあたって, 原初状態から考察を始めている. 原初状態 (original position) に関しては様々な形容, 説明がなされているが, 要約として田中<sup>16)</sup> のいう特に重要な想定「主体が人間社会についての一般的事実しか知りえず, 自己の階級的地位や社会的資格, 自己の才能・体力などの自然な資産・能力, 自分の人生計画の詳細等々, 一定種類の個別的事実は知らないという『無知のヴェール』の背後で正義原理を選択しなければならないという, 情報に関する想定と, 当事者達は, 合理的にかつ相互に他人の利益には無関心に, 自分の利益の最大化をめざし, 嫉妬・気どりでうらみなどによっては動かされないという, 動機づけに関する想定」を引用する.

原初状態の想定、及びここから考察を始めることは単なる仮定であるが、前節で示した情報の不完全性に対処するためのプライオリティーと、この想定、プロセスに従うことには矛盾はない。この原初状態において、合理的主体が正義原理を選択、つまり公正さを保有しようとするとき、上記の二原理は、避けようのない不平等の配列について、望ましい方向性を、理念的レベルにおいてではあるが、論理的に与える。これは、Rawls 自身が例として挙げているように、ギャンブルを始めるルールについて参加者が賛成していれば、つまり原初状態において各人のゲームをプレイする能力・経験を考慮の外に入れた客観的なルール設定ができれば、その結果がいかなるものであれ、公正な結果である、という論理である。ここで、避けようのない不平等とは、上述した自然な資産・能力等、「一定種類の個別的事実」によって生じるものである。平等とは、対象を比較・判定する変数に依って、考察対象とする人々の特定の側面について判定されるものであり、人類の基本的多様性を認めるなら、全変数について達成することはできない、と Sen<sup>20)</sup> が結論づけているものである。以上から、意思決定の手続きは、第1原理と第2原理(b)を満たす限りにおいて公正であると、著者は捉える。

手続き上の公正さを実現しても、結果としての効用の分配自体についての公正さが達成される保証はない。これに対して、Rawls が示す結果としての効用の分配自体についての公正さとは、具体的には格差原理によって表現されている。つまり、社会の最も不利な状況にある人々の社会的経済的利益の最大化のために合理的に必要と考えられる場合に限り、社会的経済的格差が正当化される、ということである。経済評価においては、何らかの基準によって、費用・便益・効用に重み付けを行うことで、この格差原理が体现されている。

この論理の正当性について、Rawls は、原初状態の仮定の下での直接的論理的帰結としてではなく、伝統的諸理論に優先することだけを示している。伝統的諸理論全てとの比較は他に譲り、ここでは、Rawls 自身による他の伝統的諸理論との比較を引用する。具体的に比較されてるのは、ベンサム以来の功利主義、及び、パレートのパレート効率の概念である。功利主義については、社会的効用最大化原理の長所を認めながら、「正義によって保証された諸権利と、政治的取引や社会的利害のとの調整のためには無力である。」として、Rawls の公正さ概念に劣るとしている。また、パレート効率についても、奴隷制のように、現在ある“望ましくない制度”は、パレート効率の観点からは淘汰されず、効率と正義の観点がそれぞれとは独立のものである、という理由で、Rawls の公正さ概念に対して劣るとしている。一方、Rawls 自身も指摘しているように、その公正さの概念はあいまいさを含み、現実の場への適用が難しく、事例ごとに、意思決定主体の主観によって格差をつけるべき線引きを検討する以外に方法はない。以上、結果としての効用の分配方法についての Rawls の公正さ概念の正当性については、著者は個人的に賛同するものの、断定的評価は下せない。

以上、結果としての効用の分配自体についての公正さについては、パレート効率、ベンサムの功利主義を並列し、最適な概念は一義的には選択されない、ということをもっ

て、結論とする。上述した重み付けは、以上いずれの立場をとることをも可能としており、現実の意思決定の場では、この値の決定を公正な手続きによって行うことで公正さが達成される、と判断する他はない。以上、万人に了承される明確な公正さ基準が存在しないため、評価研究において可能なことは、「公正な手続きによって意思決定者の決定を可能にするよう、主体者の主観に関わる変数は未定としたまま、外生的に扱い、関連情報の整理を行うこと」までである。前節の3は、前節においては意思決定機構を外部化するための必要条件であったが、ここにおいては公正さを実現するための必要条件という側面をも付加された。

#### 第4節 異時点間にわたる公正さと持続的環境利用

前節では時間に対する考察を排除し、同時点異主体間でのいわゆる公平性、つまり公正な効用分配について考察した。これに対し、ここでは異時点間の公正な効用分配についての検討を、環境利用の持続可能性との関わりにおいて行う。

まず、異時点間で公正な効用の分配をするにあたっては、同時点、つまり現世代間の異主体間の効用分配とは大きく異なる。それは、意思決定に参加すべき未来の主体が意思決定の場に参加できない、ためである。ここに、単なる現世代間の異主体間の効用分配の応用としては捉えきれない、

##### A. 異時点間の公正さの達成

という課題がある。一方で、異時点間での公正さの達成と、環境の持続的利用の達成は、第2節で示したように超合理性が成り立たないために、独立に扱う必要がある。現時点での科学技術を駆使して収集した情報に基づいて、将来世代を含めた完全な民主主義の下で意思決定をすることが仮に可能であるとしても、

B. 適正な環境容量の完全な認識に対する限界。

C. 仮にBに問題がないとして、民主的意思決定と、環境保全に必要な意思決定の乖離の可能性。

D. 持続的環境利用による社会厚生と民主的公正さによる社会厚生の間での最適バランスの達成。

等の問題が存在する。

さて、まず問題のAについて、Rawls が公正さの構成概念を原初状態から導き出したことに習い、まずは理念的なレベルでの異時点間の公正な効用分配を原初状態から検討する。枯渇性資源の利用にあたっては、例えば Solow<sup>21)</sup> は「枯渇性資源の現在利用分のレントを再生産性のある資本に投資すれば、そのような社会は恒常的に一定レベルの消費をすることができる」として、異時点間の、結果としての効用の公正な分配方法の一

つを提唱している。この背景には経済評価の対象財が全て貨幣換算される、互いに可換な財である、という仮定があり、次節で述べるようにこの仮定が相応しくないであろう資源・環境利用においては、この様な説に正当性が与えられるかどうかは意見が分かれるところである。他には、便益配分に関する異時点間の公正さに関する注目すべき説は特に存在せず、基本的には異時点間の公正さは通常の公正さの部分であるため、異時点間における公正さを実現するための必要条件は、通常のものに帰する。しかし、意思決定に参加すべき主体の一部が存在しないため、前節で述べた手続きの公正さはほぼ意味をなさず、結果としての効用の分配自体について、考えられる立場から何らかの選択をしなければ、効用の分配はできない。この選択は、意思決定のテーブルにつくべき多くの主体のうち、ごく少数の我々現世代だけによって行う以外に術はなく、未来に責任を負う我々は、努めて倫理的であらねばならない。

一方、問題のB、C、Dに関連し、例えば資源利用を例にとれば、再生可能資源の利用に関しては、物理的に決定される最適な資源保有量から基本的な利用可能量が求まる。また、一般の環境利用に関しても、環境容量を越えない利用が望ましい、ということが単純に結論づけられる。むしろ、いずれも現実への適応では、観測等に関する物理的不確実性の問題がある。不確実性一般については次節で若干整理するが、Bは動かしようのない事実である。従って、意思決定においては、この点に注意する必要がある。

その上で、Cについては、環境利用の持続性を第一目的に掲げる場合には、民主的決定が問題になりうるが、民主社会の達成を第一目的に掲げる場合には、社会が納得して環境利用を放棄することに相当し問題が存在しない。問題が存在しうる前者でも、意思決定機構の扱いとその決定の扱いにあたっては、第2節の2に結論づけたように、それらを外部化し、それら結果の是非はむろん問わない。

このような扱いをしても、可逆的問題に関しては、短期的な便益の配分について依然問題が残る。例えば、既に発生した環境問題の修復等、環境容量を基準に、必要指標があるべき水準に改善することは瞬時にできることではなく、修復プロジェクトのタイムスケジュールの設定に関して、Dは以前動かしがたい問題である。ただし、可逆的問題では、長期的視野からの環境利用は可能であるので、収集可能な情報に基づいて、不確実なりに公正な意思決定がなされれば十分であろう。

将来と現在の効用を評価するにあたって、それらの重み付けは将来価値の割引という作業に、そして変数としては評価期間と割引率の値の設定に集約される。ここまでの議論からだけでも明らかなように、望ましい割引率の値は一義的に決まるものではない。これに対し、どのように割引率が決定される必要があるか、次節第3項でいくつかの異なる理論を紹介・検討する。評価期間に関しては、それを有限とするか無限とするか等期間の設定自体の問題と、評価期間内に新たな意思決定をするか等、期間内の操作変数の操作に関する問題がある。これについては、次節第4項において言及する。

本節の考察より結論として、

1. 環境容量の維持から得られる社会厚生と、環境利用以外がもたらす社会厚生のパラ

ンスは、対象とする環境問題の可逆性に依存するため、その可逆性に応じて個別に評価される必要があり、そのバランスに関する普遍的で具体的な望ましさの理念は存在し得ない。

2. 異時点間の公正さの達成として、将来世代を含めた手続き上の公正さの達成は不可能であり、現世代のみによって前節で述べた公正さをできる限り実現させる必要がある。
3. 異時点間にわたる評価手法として現在有力なのは割り引きであり、第5節で述べる貨幣換算可能な便益量に関しては、割引率の選択に応じた予測結果を統合した形で意思決定主体に情報提供が可能である。

を得た。

## 第5節 費用便益分析手法

### 第1項 持続的環境利用を目的とした費用便益分析の枠組みの考察

以下では、一般に経済評価、意思決定に用いられてきた手法としての費用便益分析について、持続的環境利用を目的として用いる際に相応しい枠組みの検討を行う。

費用便益分析（Cost Benefit Analysis, CBA）とは、単純には「立案された複数の代替案を実行することによって得られる費用と便益を計測し、その純便益の大小によって、代替案から望ましい案を選択する」手法である。費用便益を貨幣量に限定せず、物量等、他の単位で表現し、代替案から望ましい案を選択する場合は、費用効果分析、または費用有効度分析（Cost Effectiveness Analysis, CEA）と呼ばれる。更に、複数の目的の達成、もしくは複数の単位の費用・便益間のトレードオフを提示し、代替案から望ましい案を選択するものを、多基準分析（Multi-Criteria Analysis, MCA）と呼ぶ。いずれも、なんらかの単位で費用と便益を計上し、そこから望ましい代替案の選択をする手法という意味で、以下では、これら3つの分析手法を広義の費用便益分析と捉え、一括して扱う。

その定義から直ちに問題となるのは、費用と便益の計量について、その

1. 評価対象の範囲
2. 費用と便益の計量方法
3. 費用と便益の次元・単位
4. 費用と便益の計量指標
5. 異なる次元・単位の費用・便益量の統合可能性

等の扱いについての問題が存在し、それぞれ以下で具体的に検討する。

1の評価対象としては、計画の結果が影響を及ぼす全ての人々にとっての、あらゆる影響を対象とすることが望ましい。「全ての人々にとっての影響」を貨幣のフローについて評価する経済学的手法として、一般均衡分析が挙げられる。ここで、一般均衡分析とは、考察中のすべての財の価格を変数としてすべての財の市場を同時的に扱う分析<sup>2</sup>

2) である。同手法のメリットとしては、市場全体を扱える手法として、特定プロジェクトの実施等が与えるインパクト全体をマクロスコピックに捉えられる、ということが挙げられる。一方、デメリットとしてはモデル構築のために全事象の関係性を仮定として単純化する必要が現実的には常にあること、および、主に「全体を包括的に表現する」ことを目的とするために、特に着目したい事象について、必要に応じて定性的なことをも併せて検討することには向かない、という点が挙げられる。つまり、一般均衡分析は、「全て」を広く浅く扱うには優れているが、従来の経済評価の枠に収まらない問題を対象とするには、少なくとも慎重な再検討が必要である、と言える。一方、部分均衡分析とは、関心の集中する経済のある一面だけを取り出し、その他の事情は一定に留まるという大胆な想定によって波及とフィードバックの連鎖を方法的に断ち切って孤立させることによって、詳細に検討しようとする<sup>23)</sup>分析手法である。経済全体にわたる種々の波及効果全てを評価対象に含めることと、関心の集中する一面の詳細な検討することで、前者に関しては、この手法は明らかに一般均衡分析には劣る。可能な限り詳細であることと、可能な限り全体を扱うこと、両方同時の検討が不可能である限り、目的に応じた手法の選択が必要である。第2節以降、ここまで述べてきたように、考察中の評価の枠組み設定に関して、何らかの形で妥協が必要な場合、持続的環境利用、公正さの達成という順のプライオリティーが必要になる。この限りにおいては、部分均衡的评价が、このプライオリティーをより満足させやすい性質を持っていること、従って、多くの場合、持続的環境利用目的の費用便益評価には部分均衡が望ましいということが言える。

次に、2の費用と便益の計量方法を検討するにあたり、まず価値の定義、もしくは本質について整理する。経済学における価値の定義については、歴史的にマルサス、ジェボンズ等が、需要と供給の関係、限界効用との対応において提示してきた。これらは、もっぱら貨幣との交換の成立、市場における財取引を念頭に置いてきたものである。労働や人間関係等への価値概念の拡張例として、マルクスが著名であるが、著者は「主体者が評価対象に価値を認めた段階で価値は発生し、その程度は、ある時点においてある程度だけ観測可能なものである。」と捉える。限界効用均等の法則に代表される従来の経済学の価値体系は、等価財の交換に特に着目したもので、持続的環境利用に特に注目したものではない。これに対し、ここでの価値の定式化の試案は、より広範で曖昧であるというデメリットを有するが、最適な長期的社会厚生を達成を念頭に置いた場合、その量、およびその時間変動は無視できない程である、という点に特に着目したものである。

沙漠で乾きをおぼえている人間が、巨大な宝石よりコップ一杯の水により価値をおく、ということは、市場価値、すなわち、市場が評価する価値体系には反していても、私的な価値体系として、なんら経済理論・従来の価値理念に反するものではない。この様に、私的価値は、それを表明する主体によって大きく異なる上に、その主体においても異時点間で著しく異なってくる。しかし、沙漠で乾きをおぼえている人間の価値観の時間変動は、その個人の経済状態が時間変動すればすむことであるが、社会の価値観の時間変

動は、社会厚生の変動させ、多くの場合、社会的問題を伴う。（なお、著者は個人的経済問題を軽視するつもりはないが、同問題は本論の論旨から外れるためこのように扱う。）社会厚生の変動は、具体的には、環境利用の持続性を保証しないことを含み、従来の価値理念、もしくはその扱いに欠陥があることを示している。例えば、資源枯渇のカタストロフィーの前後でも限界効用均等の法則に従って、最終的には資源利用の経済的最適性はある意味保たれるであろうが、便益配分を含めた社会の効用は、一時的に著しく低くなることであろう。このとき、いわゆる「環境の価値」を従来の価値理念によって評価したものは、評価時点における経済情勢で一時的には仮に正しくとも、環境の持続的利用を目的とする視点からは、明らかに不適切になる。このことは、従来の経済学的価値理念を、環境の持続的利用を目的とした評価に適用することに欠陥があることを示す例である。

望ましい環境の価値計測手法は、“Economic Analysis of the Environmental Impacts of Development Projects”の邦訳タイトル「環境はいくらか」<sup>24)</sup>が問う様に、昨今の環境経済学の主要課題の一つである。それには、代表的なもので、ヘドニック価格法 (Hedonic Pricing Method)、トラベルコスト法 (Travel Cost Method)、仮想的市場評価法 (Contingent Valuation Method) 等がある。他にもいくつか提案されているもの<sup>25)</sup>はあるが、これらはいずれも損害賠償や環境価値相当分の価値の市場取引が必要な際に、やむなく用いられる限りにおいては妥当かもしれないが、環境の持続的利用を目的とする場合、これらの手法を用いて環境の価値計測をし、従来の経済評価に含めるのは相応しくない。環境の持続性を目的とする場合、「環境はいくらか」の問いへの答えは「計測してはならない」である。単純に環境の価値を貨幣換算化し経済評価に取り込むことは、持続性を目的とする限り、妥当でない。つまり、これまでの経済評価では、合理性の仮定の下で効用最大化は目的関数、環境の持続的利用は制約条件として定式化されてきたが、合理性が成立せず、従来の経済学的価値体系の環境の価値評価への適用に問題があり、環境の持続的利用を目的とする限り、環境の持続的利用という目的自体が環境容量の維持という形で目的関数化された上で、効用の最大化は制約条件として用いられる必要がある。

ここまで、環境の持続的利用を目的とした場合の環境の価値評価の可能性について論じてきたが、以下では、全ての関連事象を経済学の枠にこだわらず、再検討する。まず、費用や便益評価の対象となりうる事象のうち、関連するものを便宜上、表 5-3 の様に分類した。

I の一般財は、既述のように私的価値としては、評価主体、評価時点によって、その値が特に著しく異なる。文化財や親の形見等、特定主体にとっての市場価値とは異なる特定の価値が存在するが、環境の持続的利用を目的とする今、その様な価値の考察は他に譲り、ここでは一般財の価値は市場価値に等しい、つまりその貨幣換算化が容易なものである、とする。

表 5-3：持続的環境利用目的の評価対象の分類とそれぞれの定量評価可能性

| 評価対象事象          | 各事象の特徴                                                              | 持続的環境利用目的下での定量評価可能性                                                               |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| I：一般財           | * 私的価値は、主体、時点により異なる                                                 | * 市場価値に等しい、貨幣換算可能とするのが妥当。（特定主体にとっての市場価値とは異なる特定の価値は対象外）                            |
| II：資源           | * 枯渇性資源と再生可能資源が存在<br>* 共に貨幣換算化が困難                                   | * 目的、仮定により評価法が異なる。<br>* 再生可能性のものに関しては再生可能使用量を制約条件とするのが望ましい。<br>* 貨幣とは独立な評価が望ましい。  |
| III：汚染や環境破壊等の現象 | * 不可逆性の存在<br>* 貨幣換算化が困難                                             | * 完全に不可逆なものについては環境容量維持が目的<br>* 可逆的なものは、復元費用や補償費用により貨幣換算可能<br>* 中間的なものについては事例ごとの対応 |
| IV：効用           | * 従来型の消費の効用関数は問題あり（例：持続性の達成度が消費量に負の相関を持ちうる）<br>* 現実を十分反映した効用関数系は未開発 | * 関数形をとる効用概念の非利用                                                                  |
| V：貨幣            | * 最も安定的特性を持つ財の一つ                                                    | * 貨幣単位                                                                            |

IIの資源は、枯渇性資源と再生可能資源に更に分類する。前節で若干触れたが、双方共に貨幣換算化が困難であり、それ故に経済学の一分野を成している程である。つまり、これらは目的、もしくは仮定によって評価法が変わりうる。本論の目的は、持続的環境利用であるため、これまでの従来の経済評価手法に対する評価から、双方ともに貨幣換算化は不可能である、とするのが妥当である。再生可能な資源に関しては、再生可能使用量を制約条件とすることが、持続的環境利用目的に合致する。この場合でも、短期的な資源利用変動に伴う便益を最適化することは排除していない。枯渇性資源に関しては、異時点間の公正さを少なくとも手続き上達成させ、その利用法について意思決定をすることが、実現可能性は乏しいが、望ましい。

次に、IIIの汚染や環境破壊等の現象については、既に触れたが、可逆性の程度に注目する必要がある。完全に不可逆なものについては環境容量を守ることが目的となり、再生可能性資源と同様、貨幣換算自体が不可能である。一方で、可逆的なものは、環境復元に要する費用や補償費用をもって、貨幣換算可能なものとしてさしつかえないであろう。中間的な、可逆的であるがその費用が莫大であるもの、もしくは復元に要する期間が多くの年月を必要とするもの、については事例ごとに両者折衷の対応をとることが望ましい。

IVの効用については、経済評価で通常よく用いられる消費だけを変数とし、その単調増加関数とするという仮定は、持続性を目的とする限り、明らかに誤っている。効用関数の変数として持続性の達成度を表す指標があるとすれば、その指標が消費量につれて減少しうること、および、その指標の増加が効用の増加をもたらす関数系であることがありうる、という例を一つでも想像できれば、十分に示される。一方で、指摘したよう

な変数を取り込んだ、現実を十分反映した効用関数系というものは今のところ見あたらない。また、これは将来にわたって不可能ではないだろうか。いずれにしろ、当該目的のもとでは、効用関数の形をとる効用概念は用いないことが妥当である。

最後に、Vの貨幣については、Iの一般財とは違うが、他に融資すれば常に増加する（もしくは、その可能性が最も高い）という、最も安定的特性を持つ財の一つ、という認識でIに含めることがある程度可能である。つまり、Iの貨幣との可換性は高いといえる。

以上、便宜上I～Vに分類した費用や便益評価の対象となりうる事象は、環境利用の持続性を検討する費用便益分析において貨幣単位で評価して妥当かどうかにより、以下の二つに再分類される。

A：枯渇性資源，再生可能資源，不可逆性の汚染や環境破壊等の現象，効用

B：貨幣，一般財，可逆性の汚染や環境破壊等の現象

上記Bに分類されるものは貨幣換算が可能であるが、Aに分類されるものは、その事象それぞれによって、異なる方法，単位で計測する必要がある、それぞれを統合することは、当該目的の下では望ましくない。但し、対象によっては、更に具体的な評価目的に応じ、A、Bいずれに分類されるか、分類不可能なものがあり、以上の分類は一般的レベルでの参考用分類にすぎない。Bの範疇では、貨幣価値はオプション価値を含む多くのものに細分類され<sup>26)</sup>、それぞれの不確実性に応じて、区別して評価されうる。このような場合では、狭義のCBAよりは、CEA、更にCEAよりはMCAの方がより望ましい手法である。ここまでの議論から、冒頭で分類した5つの問題について、その2、3、5に答えが与えられる。

4の計量指標に関しては、貨幣以外については、方法や単位と同等のことであるが、貨幣単位量に関しては経済学のこれまでの蓄積について、詳細は他に譲り<sup>14, 27, 28)</sup>、結論だけを簡潔に紹介する。結論としては、費用や便益の計量には消費者余剰(CS)の他に、補償変分(CV)、等価変分(EV)が用いられる。ここでCSとは、財の購入に際して、消費者が実際に支払う金額からのそれを超過し支払うことを辞さない超過額のことである。更にCVとは、計画されている改善的变化に対するWTP(Willingness to Pay)、もしくは改悪的变化に対するWTA(Willingness to Accept)である。またEVは、計画されている改善的变化をあきらめることに相当するWTA、もしくは改悪的变化を免れる分に相当するWTPのことである。ここで、WTPとは最大支払い意思額、WTAとは最小受け入れ意思額である。CVとEVには大きな乖離があり、評価目的に応じてその指標の選択は注意深くされる必要がある。現在は、経済学者の間で、どちらを選択すべきかについての論争は決着をみていない。

## 第2項 公正な効用分配における制約条件

前節まででは、効率性と衡平性を両立しうる公正さについて整理をした。簡潔には、

1. 手続き上の公正さを実現すること
  2. 結果としての効用の分配自体についての公正さは、一義的に決定されるものではなく、歴史的に淘汰されてきた幾つかの公正さ概念を参考に、1を通して決定する
- の二点を満たすことを公正さを実現するための必要条件として結論づけた。以下では、具体像のはっきりしないこれらの必要条件について、制約条件として明らかにされている事柄を表5-4に整理した<sup>29)</sup>。

表5-4：公正さを実現するための制約条件

### 第一：補償原理の非有効性

補償原理とは、社会状態の変化において仮説的な支払いを仮定した上でパレート改善の達成を判定するもの。補償原理を前提とした社会のパレート改善を目指す社会的変化は、公正さの観点からは望ましいとはいえないという点で制約条件である。

### 第二：アロウの一般可能性定理による制約

アロウの一般可能性定理とは、少なくとも3通り以上の社会状態があるとき、[広範性]、[パレート原理]、[情報の効率性]、[非独裁性]の4つの条件を全て満たすような社会的選択ルールが論理的に存在し得ない、というもの。つまり、4つの条件のうち少なくとも一つを満たすことをあきらめないざるを得ないという意味の制約条件である。

[広範性]とは、社会的選択ルールは、人々の選好順序がどのようなものであっても、これに対応する倫理的な社会的選好順序を形成できなくてはならない、というもの。[情報の効率性]とは、 $n$ 人の人々の社会状態に関する選好順序を変数とする $n$ 次元ベクトルが例えば2つあり、特定個人における2つの選好順序が一致する時、それぞれの $n$ 次元ベクトルによって決定される2つの社会全体の選好順序は、一致しなければならない、というもの。[非独裁性]とは、ある個人にとって、その選好が社会全体の選好を決定づけられることが補償されている、という意味での独裁者の存在を排除しようとするもの。

第一に、費用便益分析の理論的基礎を提供してきた厚生経済学では、補償原理が注目を集めてきた。補償原理は、プロジェクトの実施等、社会状態の変化において、社会的なパレート改善がなされているかどうかの判定をするものであるが、前提として仮説的な支払いが仮定されていることが特徴的である。これも詳細は他に譲るが、シトフスキーのパラドックスと、そのサミュエルソンの補償原理が提唱されて以来、結論としては、効用の分配が一部の主体に不利益をもたらす一方、社会全体の効用が増加する時、補償をすることによって変化が是認されるケースは、その変化の望ましさは異論の余地のないように明らかな場合だけである、ということが知られている。一部の人が不利益を受けていて、社会全体から見るとその変化が果たして望ましいかどうか判定が難しいようなケースは、理論的には判定が不可能である。つまり、仮説的補償を前提とした社会のパレート改善を目指す社会的変化は、公正さの観点からは望ましいとは言えず、補償原理を安易に仮定をしてはならないということが知られている。

第二の制約条件として、アロウの一般可能性定理 (General Possibility Theorem) を挙げる。これは、特定プロジェクトの採用や不採用など、少なくとも3通り以上の社会状態があるとすれば、以下に示す4つの条件を全て満たすような社会的選択ルールが論理的

に存在し得ない，というものである．4つの条件とは〔広範性〕，〔パレート原理〕，〔情報的効率性〕，〔非独裁性〕である．ここで広範性とは，社会的選好ルールは，人々の選好順序がどのようなものであっても，これに対応する倫理的な社会的選好順序を形成できなくてはならない，というものである．情報的効率性とは， $n$ 人の人々の社会状態に関する選好順序を変数とする $n$ 次ベクトルが例えば2つあり，特定個人における2つの選好順序が一致する時，それぞれの $n$ 次ベクトルによって決定される2つの社会全体の選好順序は，一致しなければならない，というものである．非独裁性とは，ある個人にとって，その選好が社会全体の選好を決定づけられることが補償されている，という意味での独裁者の存在を排除しようとするものである．少なくとも3通り以上の社会状態は，現実社会では必ず存在するため，言い換えれば，この定理は，これら4つの条件のうちすくなくとも一つを満たすことをあきらめなくてはならない，ということの意味している．

以上，先人達の知見として重要なものを列挙した

### 第3項 割引率の取り扱い

第4節では，環境利用の持続可能性との関連における異時点間の公正な効用分配について論じた．この公正さは，貨幣価値で表される便益評価においては割引率という変数に集約されて表現される．これは，将来の価値は現在の価値とは同等ではなく，割引率

という値によって（多くの場合は将来の価値は現在のそれに比べて少ないため）割引いて評価することが妥当である，という発想からきている．この割引きには，大きく分けて表 5-5 に示した二つの理論的背景がある．

表 5-5：割り引きの二つの理論的背景とその特徴

|            | 根拠                       | 特徴                                          | 評価対象としての分類の試案                    |
|------------|--------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------|
| 資本の機会費用の反映 | 資本を投資に用いた場合の将来便益の反映      | 現在の実際の世の人々の意思決定に基づいたもの．記述的アプローチで採用されることが多い． | 貨幣，一般財，可逆性の汚染や環境破壊等の現象           |
| 社会的時間選好率   | 主体は異時点間において異なる選好を持つことの反映 | 規範的アプローチで採用されることが多い                         | 枯渇性資源，再生可能資源，不可逆性の汚染や環境破壊等の現象，効用 |

第一の考え方では，ある時点で存在する資本は，投資さえすれば一定期間後には（場合によっては負の）利益を得るはずであることに依拠し，将来の貨幣量は現在のそれより多い（場合によっては少ない）はずであるという考えが割り引きの根拠となっている．この考え方は，実際の世での人々の意思決定に基づいたもので，記述的アプローチと呼ばれる<sup>30)</sup>．一方，人は便益量自体が同じでも，それを現在受けるのと将来受けるのでは効用が違う（一般には将来受ける便益はより少ない効用をもたらす）という考え方，つまり異時点間における選好が異なるという考えが割り引きの根拠となっている．この考え方は，異時点間での公正さに依拠した規範的アプローチといえる<sup>30)</sup>．以上の両アプローチは，第2節で述べた事実解明的アプローチと規範的アプローチに対応すると著

者は判断しているが、提示されている文献での記述が異なるために、記述的アプローチと事実解明的アプローチという両方の表現を文献に忠実に並記した。

さて、割り引きに関しては、この二つではどちらのアプローチが望ましいのだろうか。残念ながら、現在までの環境経済学者間の論争では決着をみていない。ここまでで挙げた二つの考え方は、将来価値の現在価値化一般の話であり、その限りにおいては、場合によって両者それぞれの考え方が妥当であろう。しかし、本論で一貫して述べている環境の持続的利用を目的とした場合では、第1項で述べたように、様々な事象の価値は貨幣単位には一元化されない。これら、貨幣換算されないものは当然割り引くべきではない、言い換えれば割り引くことは不可能である。また、第1節以降の考察に従えば、環境の持続的利用を目的とする限りにおいては、規範的アプローチを採用することが望まれる。但し、これは、規範的アプローチに従えば、割り引きは単に社会的時間選好率によってなされるべきである、という意味ではない。異時点間での公正さを達成しようとする限りにおいては、貨幣価値化が確実なものについては資本の機会費用を反映する形で、貨幣価値相当分を異時点間で移転させる手続きが必要である。この手続きは、将来価値を現在価値化する際には割り引き作業に相当する。一方、これとは独立に、異時点間での効用分配についての意思決定では、手続き上の公正さを実現させるために、意思決定主体の社会的時間選好率を反映させられる形態にすることが必要である。つまり、将来価値は全て社会的時間選好率で割り引き、その値の決定は意思決定主体に委ねられるよう、操作可能であるようにする必要がある。社会的時間選好率で割り引かれるものも、むろん貨幣換算されているものでなくてはならないが、本節第1項でのAとBの間での貨幣換算されるかどうかの分類は普遍的レベルでの参考的分類にすぎず、実際の事例評価においては評価目的ごとに異なる対応が必要である。

評価目的ごとに異なる対応が必要である例として、山間の林業生活者の生業を支える個人所有の山の価値を考えてみよう。著者は、幸運にも富山県のそのような方（仮にX氏）にインタビューをする機会を偶然にして得た。X氏によると、その山は先祖代々からX家が所有しているものであり、X氏は、飲料水から野菜、照明及び暖房用の木材、炭、建築用木材等、高度な工業製品や肉類を除くすべてをこの山から得ている。物々交換による工業製品や肉類等の入手や、それを必要としない生活スタイルの選好などによって、X氏は現代の日本において、今もお貨幣経済とほぼ無関係に生きることを可能としている。X氏に、仮にこの山を売却するとすればいかほどになるか、と問うたところ、「数百万円なはずだ」と教えてくれた。この価格は近隣の山の不動産売買における市場価格だそうで、むろん、先祖からずっと受け継いできた、持続的利用の可能な山を子孫に引き継ぐのに妥当な価格では全くない。一方で、X氏自信も述べていたが、持続的利用の可能なこの山一つを子孫に引き継ぐのに妥当な価格（見方によっては無限大）をX氏が受け取るのは、不可能だけでなく、妥当とも思えない。X氏のような山の所有者には、所有している山を売却し換金化する人もいるが、X氏自身は、「特別の事情でもない限り、わざわざ山を手放すつもりはない」そうである。つまり、X氏にとって

は、特別の事情がない限り、この山の価値は貨幣換算化されないものである。持続的環境利用に限らず、様々な意味で社会的に保全されるべき山やその量（面積）は、社会全体の山を保全する目的と関連する環境容量に応じて決められる性質のものである。X氏個人所有の山が、社会的に永続的に保全されるべき理由は必ずしもなく、この山は、評価目的によって、第1項の分類ではAにもBにも属しうる。また、貨幣換算されても社会的時間選好率による割引率の値は、（X氏であるか、政府であるかに依らず）意思決定主体の決定に委ねる他はない。

以上、割り引きの二つの理論的背景については、評価対象の貨幣換算可能性と、評価目的、評価の枠組みに応じ、その都度、妥当なものを選ぶことが必要であり、一般的にどちらが正しく、いくつの値をとるべきである、ということはいえない。

割り引き概念の導入に当たっては、割引率の値だけではなく、割り引きの対象となる貨幣量が消費と投資のどちらに回されるのか、の検討も必要である。消費をするという意味決定をすることは、得られた貨幣をその時点で楽しみ等の効用に転換することであり、転換前の貨幣量に再転換することが不可能な場合が多く、可能な場合でも等価に再転換することは取引費用がゼロでない限り一般に不可能である。したがって、将来のある時点で消費をすることを想定しているものは、消費直前の貨幣価値の現在価値化が可能である。一方、投資をするという意味決定をすることは、その時点で消費をせず、将来に向けて（資本の機会費用相当分の貨幣価値を増やしながらか）資本を保管し、将来に消費の機会を残す、ということである。したがって、将来のある時点で消費をすることを想定していないものは、利子率がゼロの場合を含め投資されていることに該当し、したがって更に、現在価値化は評価期間の末期等で任意に行う他はない。

更に、通常行われている割り引き評価の背景には、以下の仮定があることを触れておく。一つには、割引率は本来的には時系列的に変化するものであり、一般に一つの評価で固定して扱うのは、単なる簡単化であるということである。二つには、ここまでで若干述べたが、将来の社会の経済状態が現在のものよりよくなる保証はなく、割引率は原理的にはマイナスの値もとるうる、ということである。むしろ、割引率が正の値をとらないと将来の割引価値は収束値を持たないが、計算の都合で割引率の値が決められてはならない。

以上、環境の持続的利用を目的とした経済評価では、評価対象の貨幣換算可能性と、評価目的に応じ、その都度、妥当な評価の枠組みを設計し、更に、社会的時間選好率の具体的値として意思決定者が妥当な値を自由に選択できるよう、（可能であれば参考指標を添えて）割引率自体を変数としたままで提示することが必要である。同様に、評価期間によって評価結果は異なるため、可能な限り評価期間自体をも操作変数化して提示することが望まれる。割引率の具体的値については、ここでは参考文献<sup>30, 31, 32, 33)</sup>を挙げるに留め、次章で具体的事例研究を示す。

#### 第4項 不確実性の取り扱い

ここまで、限定合理性や完全競争の保証の程度に関連し、情報伝達に関する不確実性、将来の結果の予測に関する不確実性、環境容量の明確な認識に必要な、観測等に関する物理的不確実性につきまとう要素等を保留してきたが、環境の持続的利用や公正さの実現には、不確実性に対する妥当な対応が必要である。

まず、不確実性の要因としては、盛岡<sup>34)</sup>によると、一般に影響や効果が空間的に広範囲であり、時間的に長期に及ぶものであること、利用しうるデータが決定的に不足し不適切であること、現象が複雑で変化しやすく、十分に科学的に理解されていないことが挙げられる。それぞれの本質的な差に関わらず、不確実性の程度は、意思決定主体の不確実性を減じるための努力、つまり費用との間のトレードオフによって、その結果としての不確実性の程度が決まる。ただし、本質的に不確実でしかあり得ないものの解明には費用が無限大にかかるという表現を含めての表現である。これは、第2節で記した限定合理性について、超合理的な状態、言い換えれば不確実性のない状態は存在しないことに相当する。

不確実性は研究者によって様々に分類されているが、分類の如何に関わらず不確実性への対処法は主に確率論に依拠した評価法かシナリオ分析によるものが主流である。シナリオ分析として標準的なものは、操作変数に最良推定値、最小値、最大値をパラメトリックに入力する方法であり、本論文、第3章、第4章、第6章における分析ではこれ以上のことは行っていない。これに対し、以下本節では、不確実性に対する取り組みとして2つの視点を紹介するに留める。

まず、将来を含む不確実性への対処方法として、Hammond, P. と Mirrlees, J.A.<sup>35, 36, 37)</sup>によって提唱されたアグリーアブルプランを紹介する。これは、評価期間がある程度以上十分長い時、評価期間の末期（仮に $T^*$ ）として相応しいものが不明であり、 $T^*$ としてある程度幅を持たせた評価をするとき、 $T^*$ 以前の $T$ という点まで計画を実行することが賢明であると思われる計画を見いだすことが可能である、というものである。Mishan<sup>33)</sup>は考察対象の社会を構成する人々が異なる時間に同時には存在し得ないことを理由に、異時点間での優先順位をつけることは不可能、としている。これに対し、Heal<sup>37)</sup>は、それを認めた上で、将来世代が計画を途中で変更する可能性を考察に含めている。通常、長期的に最適な軌跡は、不確実性等を含めて、あらかじめ最適なものを求め、それに従うことを前提としているのに対し、この考えでは、将来を見越した計画は常に立てるべきだが、十分な時間の経過に応じて、それぞれの時期における最適長期計画を立て直す、という考えに基づいた不連続な軌跡を、より本質的に最適な軌跡とみなしている。定性的には自明のことだが、 $T^*$ という時間視野をもって、 $T$ という点まで計画を実行することが賢明であると思われる計画を見いだすことが可能である、ということを定式化したことは注目に値する。

不確実性に対しては、これまでの数理的な扱いの簡便性を比較的重視した方法に対して、経験や実践や意思決定者のニーズに応じたりリスク概念のレベルで扱うことが要請さ

れるようになってきたが、オランダの公衆衛生環境研究所(RIVM)の行った TARGETS(Tool to Access Regional and Global Environmental and health Targets for Sustainability)アプローチ<sup>38)</sup>は、この要請を満たすものとして注目される。この TARGETS アプローチは、将来への視角として世界観と政策選好の二つの次元を区別した上で、階級社会支持者(Hierarchist)、平等主義者(Egalitarian)、個人主義者(Individualist)の3極の立場、見方を用意し、価値判断によって異なるモデルを選択し、通常之感度解析を越える扱いと不確実性のより多角的な解釈を可能にしている。これは、シナリオと連動した将来予測を上位におきつつ、細部では確率論的な方法論を活用した方法である。将来の見通しに関しては、特定の一つに偏らず、幅のある複数の見通しを、その前提条件とともに意思決定者に提供することを強調したものであるという意味で、注目に値する<sup>34)</sup>。

以上、不確実性へのこれまでの標準的対処法は主に確率論による方法かシナリオ分析によるものであったが、これに留まらず以上に示したような、研究主体や意思決定主体の主観等に偏らない不確実性の総合的取り扱いが求められる。

## 第6節 本章の結論

本章では、持続可能な環境の利用を目的として、意思決定に相応しい広義の費用便益分析の評価の枠組みの検討を、経済的視点、および倫理的視点から行った。当該目的の経済理論全般との妥当性の検証は壮大な課題であり、以上は問題を提起するための布石となることを願った試案だが、試案の結論として以下を挙げる。

1. 評価対象主体が合理的である、もしくは超合理的である、ということは不可能であるので、ある種の限定合理性を仮定する必要がある。具体的には、情報の完全性の達成を妥協する際は、妥協の優先順位を明確にする必要がある。第一プライオリティーは目的としている持続的環境利用に、第二プライオリティーは公正さに置く必要がある。
2. 代替案選択等に関する社会的意思決定機構としては民主主義、もしくは社会的に認められている制度が完備されていると仮定し、それを所与とする。これは、手続き上の公正さを達成するために、また、情報整理プロセスと意思決定プロセスを分離するために必要な仮定である。従って、効用関数に代表される主体の価値体系のモデル化、抽象化作業、満足化原理達成の程度は評価研究内では行わないことが重要である。
3. 意思決定主体が判断可能な形で、満足化原理を満たす変数として妥当な変数の定量化を、妥当な単位のまま行う必要がある。妥当な変数の選定・選別、および、それらの統合にあたっては1と同様のプライオリティーに従い、定性的評価を添える必要がある。
4. 衡平性とパレート効率性の両者を満たす公正さは、第1に手続きの公正さによってある程度達成される。第2に、結果としての効用分配として理念的に望ましいもの

は一義的には決まらず、公正な手続きによって意思決定者の決定を可能にするよう、関連情報の整理を行うことまでが、評価研究で可能なことである。

5. 環境容量の維持から得られる社会厚生と、環境利用以外がもたらす社会厚生のバランスは、対象とする環境問題の可逆性に依存するため、その可逆性に応じて個別に評価される必要があり、そのバランスに関する普遍的で具体的な望ましさの理念は存在し得ない。
6. 異時点間の公正さの達成として、将来世代を含めた手続き上の公正さの達成は不可能であり、現世代のみによって結果としての効用分配について、できる限りの公正さを実現させる必要がある。
7. 広義の費用便益分析における費用と便益の評価は、評価対象の貨幣換算の可能性に従って異なる単位で計測する必要がある。
8. 衡平性とパレート効率性の両者を満たす公正さの、結果としての効用分配を検討する際、第一に補償の潜在的実行可能性を仮定してはならない、第二にアロウの一般可能性定理が示す4つの条件を同時に満たすことをあきらめなくてはならない、という制約条件が存在する。
9. 環境の持続的利用を目的とした経済評価では、評価対象の貨幣換算可能性と、評価目的に応じ、その都度、妥当な評価の枠組みを設計し、更に、社会的時間選好率の具体的値として意思決定者が妥当な値を自由に選択できるよう、割引率自体を変数としたままで提示することが必要である。
10. 評価期間についても割引率同様、評価対象の貨幣換算可能性と、評価目的に応じ、その都度、妥当な評価の枠組みを設計し、更に具体的値として意思決定者が妥当な値を自由に選択できるよう、評価期間自体を変数としたままで提示することが必要である。

人文・社会科学研究では、楽観的なものや悲観的なもの等、多くの異なる立場 (perspective) をとることが可能であり、ここまで論じてきた持続的環境利用目的の研究に限っても同様である。Perspectives としては、基本的にあらゆるものが可能であり、全てを並列した研究が、本質的には以上で論じた手続き上の公正さを強固にするものであり、また不確実性への妥当な対処法でもある。より多くの perspectives の並列をするということを、手続き上の公正さの実現のための一要素とみなすとき、公正であろうとすること自体が一つの perspective の主張になりうる、という構造的な問題は存在するが、本章では、公正で持続可能な環境利用を目的として設定した後は、基本的にできる限り著者の主観を排し、論理のみを展開するよう心がけた。また、論理の展開上、必要な立場は明確に表明したが、結果としての効用分配の公正さや割引率の値等、立場として可能なものはできるだけ多く含められるよう心がけた。むろん、全ての項目に関して、存在しうる全ての perspectives を取り入れることは不可能であるが、ここでは、著者の認識の範囲で、その試案を示したに過ぎない。

以上、ここに挙げた全てを満たす形での費用便益分析を即座に行うことは、これまで行われてきている形態との差が大きいために困難があるが、次章では以上のいくつかを考慮した事例研究を展開する。

#### 【参考文献】

- 1) 天野明弘 西岡秀三 監訳 (1997) 地球温暖化の経済・政策学 中央法規 pp.1-4
- 2) 熊谷尚夫 篠原三代平 編集代表 (1979) 経済学大辞典 東洋経済新報社 vol.1 pp.147-148
- 3) 奥野正寛 鈴木興太郎 (1985) ミクロ経済学Ⅰ 岩波書店 pp.9-16
- 4) Arrow, K. J. and Hurwicz, L. (1977) Studies in Resource Allocation Processes, Cambridge: Cambridge University Press.
- 5) Simon, H., A. (1983) Reason in Human Affairs, Stanford Univ. Press (佐々木恒男 吉原正彦訳 (1987) 「意思決定と合理性」文真堂)
- 6) March, J. G. and Simon, H., A. (1958) Organizations, New York, London and Sydney: Wiley (土屋守章訳 (1977) 「オーガニゼーションズ」ダイヤモンド社)
- 7) Simon, H., A. (1957) Administrative Behaviour, New York: Macmillan (松田武彦 高柳暁 二村敏子訳 (1965) 「経営行動」ダイヤモンド社)
- 8) 熊谷尚夫 篠原三代平 編集代表 (1979) 経済学大辞典 東洋経済新報社 vol.2 pp.121
- 9) Lipsey, R.G. and Lancaster, K.J.(1956) "The General Theory of Second Best", Review of Economic Studies, 24, pp.11-32.
- 10) Harris, R.G. (1981) The General Theory of the Second Best after Twenty-Five Years", Queen's University, Kingston, Canada
- 11) 奥野正寛 鈴木興太郎 (1985) 前掲書 pp.6
- 12) 松村明編 (1988) 大辞林 三省堂
- 13) 小西友七 安井稔 國廣哲彌 編集主幹 (1980) プログレッシブ英和中辞典 第2版 小学館
- 14) 岡敏弘 (1997) 厚生経済学と環境政策 岩波書店 pp.8-13
- 15) 奥野正寛 鈴木興太郎 (1988) ミクロ経済学Ⅱ 岩波書店 pp.354-363
- 16) 田中成明編訳 (1979) 公正としての正義 木鐸社
- 17) 天野明弘 西岡秀三 監訳 (1997) 前掲書 pp.65-103
- 18) Rawls, J. (1971) A Theory of Justice, Oxford University Press
- 19) Bruce, J., P., Lee, H., and Haites, E., F. eds. (1996) Climate Change 1995 Economic and Social Dimensions of Climate Change, Cambridge University Press
- 20) Sen., A. (1992) Inequality Reexamined, Harvard University Press
- 21) Solow, R., M. (1986) On the Intergenerational Allocation of Natural Resources, Scand. J. of Economics (1), pp.141-149

- 2 2) 西村和雄 (1990) ミクロ経済学 東洋経済新報社 pp.239
- 2 3) 奥野正寛 鈴木興太郎 (1988) 前掲書 pp.94
- 2 4) 長谷川弘訳 (1991) 環境はいくらか 築地書館
- 2 5) Munashinghe, M. (1993) Environmental Economics and Sustainable Development, World Bank, Washington, DC.
- 2 6) 天野明弘 西岡秀三 監訳 (1997) 前掲書 pp.135-139
- 2 7) 森杉壽芳 (1984) 交通便益の概念とその測定理論 高速道路と自動車 第 27 巻 第 4 号
- 2 8) Johansson, P.-O. (1987) The Economic Theory and Measurement of Environmental Benefits, Cambridge Univ. Press (嘉田良平監訳 (1994) 環境評価の経済学 多賀出版)
- 2 9) 奥野正寛 鈴木興太郎 (1988) 前掲書 pp.324-389
- 3 0) 天野明弘 西岡秀三 監訳 (1997) 前掲書 pp.105-118
- 3 1) Lind, R. C. *et. al.* (1982) Discounting for Time and Risk in Energy Policy, Resources for the Future, Washington, DC
- 3 2) Harberger, A. C. (1976) Project Evaluation: Collected Papers, University of Chicago Press, Chicago.
- 3 3) Mishan, E.J. (1988) Cost-Benefit Analysis, An Informal Introduction, 4<sup>th</sup> ed., Unwin Hyman.
- 3 4) 盛岡通 (1998) 地球温暖化リスクの分析評価の動向 エネルギーレビュー 2 月号 株式会社エネルギーレビューセンター
- 3 5) Hammond, P. and Mirrlees, J. A. (1973) Agreeable Plans, in: Theory of Economic Growth edited by Mirrlees, J. A. and Stern, N.H. London Macmillan
- 3 6) Hammond, P. (1975) Agreeable Plans with Many Capital Goods, Review of Economic Studies, 42, pp.1-14
- 3 7) Heal, G. M. (1973) The Theory of Economic Planning, North-Holland Publishing Company (大住圭介訳 (1995) 経済計画の理論 九州大学出版会)
- 3 8) Rotmans, J. and deVries, B. (1997) Perspectives on Global Change: The TARGETS Approach, Cambridge University Press

注 1) “天野明弘 西岡秀三 監訳 (1997) 地球温暖化の経済・政策学 中央法規” においては, equity として公平性の訳語を一貫してあてている, との言葉を, 関連する第 3 章の翻訳者 松下和夫氏 から得ている.

## 第6章 流域内塩類集積に関する異時点間・上下流間コンフリクトを対象とした費用便益評価—カザフスタンのイリ川流域における事例研究—

### 第1節 本章の目的と背景

第3章、第4章では灌漑農業の背後にある二つの競合した目的間のトレードオフ関係の定量的評価のためのシミュレーションモデルを構築し、第4章ではまたイスラエルのイズリル谷において代表的な灌漑戦略ごとの費用と効果を推定と、それらに基づいた灌漑戦略評価をし、第5章では持続的な環境利用を目的とした意思決定のための枠組みの経済的・倫理的評価をした。これらを受け、本章ではこれまでのシミュレーションモデルを更に下流域評価を可能とするように拡張した上で、第5章で得られた枠組みを可能な限り取り入れた評価研究を行う。対象地としては、世界的にもっとも沙漠化・塩類集積が進んでおり、問題の深刻な中央アジアのアラル海周辺の圃場を選び、既述のコンフリクトの上流・下流間での空間的移転と、現在・将来間の時間的移転に関し、意思決定主体が望ましい灌漑・排水戦略を選択できるよう、関連する限り多くの情報整理を行うことを目的とする。

対象とする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た営農形態、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。

これに対し、これまで再三述べてきたように、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二つの競合する目的があり、塩類集積問題は乾燥地農業の恒常的課題として存在し続けている。この二つの競合した目的の評価は第2章、第3章、第4章で述べてきたように既存研究では正面から取り扱われていない。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、第5章で述べたように、いずれも持続的環境利用目的の農地評価には問題を含んでいる。

これらを受け、本章では、塩類集積にまつわる二つの競合した目的を対象とし、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、塩類集積発生コンフリクトを直接に左右しないので、ここでは取り扱わない。

作物選択や輪作形態選択は土壌保全、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単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。

## 第2節 代替案の立案と評価方法

### 第1項 経済的・倫理的評価枠組み

持続的環境利用目的の具体的事例評価をするにあたり、以下ではまず第5章で整理した評価枠組みの具体化を図る。

第5章第6節にまとめた結論は、作業レベルでは以下の項目の実施に帰着する。

1. 対象の単純化、モデル化、満足化原理を満たす変数として妥当な変数の選定、およびその定量化においては、第一に持続的環境利用の達成、第二に公正さにプライオリティーをおく。
2. 手続き上の公正さを保証するよう、社会的に承認された社会的意思決定機関の存在を仮定し、意思決定はそこに委ねるよう外部化する。伴って、効用はとり扱わない。
3. 環境容量の維持から得られる社会厚生と、環境利用以外がもたらす社会厚生のバランスを、評価対象問題の可逆性に応じて個別に検討する必要がある。
4. 費用と便益の評価は、無理に貨幣単位で計測せず、評価対象の貨幣換算の可能性に基づいて異なる単位で計測する。
5. 割引率と評価期間の設定にあたっては、評価対象の分類と、評価目的に応じ、その

都度、妥当な評価枠組みを設計し、値の決定を意思決定主体に委ねる。

意思決定機関を完全に外部化することにより、制約条件としての補償原理の非有効性とアロウの一般可能性定理による制約は、以上の評価枠組みには入らない。これら制約条件は、意思決定主体への情報提供時に、付与する必要がある。

以下では、以上の項目を具体的評価枠組みに反映させる。ただし、対象の単純化、モデル化にあたっては、持続的環境利用の達成と公正さにプライオリティーをおいたため、物理的評価面での不確実性を減らすことには相対的に低いプライオリティーをおいた。

## 第2項 評価方針<sup>2, 3)</sup>

意思決定主体としてアルマティ州もしくはカザフスタンの行政主体を想定する。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。

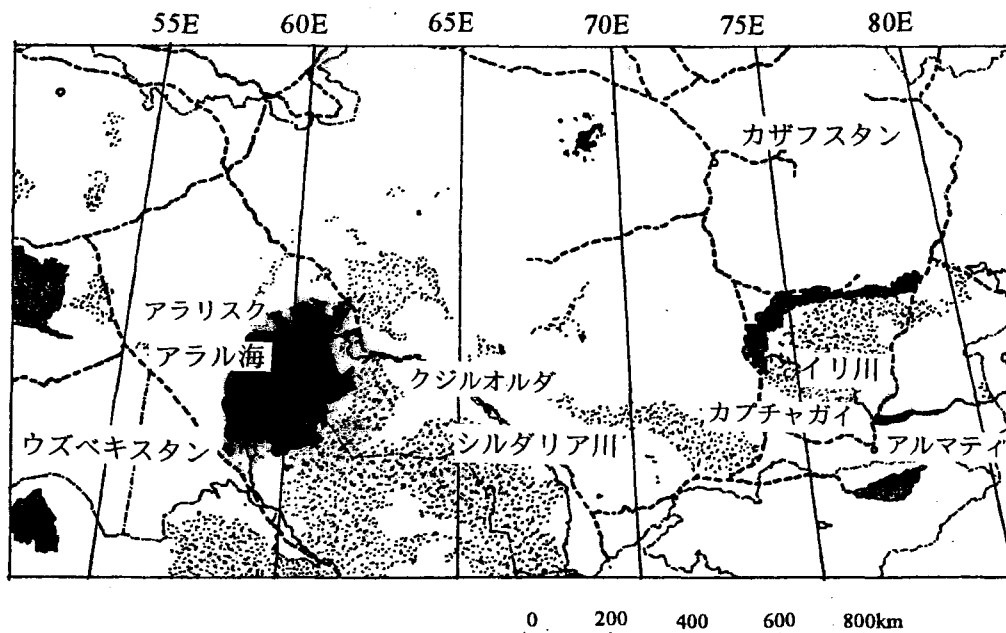


図 6-1：本章で対象とするカザフスタン南東部アルマティ州  
バカナス地区のバルハシ湖、イリ川

図 6-1 に示した、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℃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。

ここでは、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。これは、第4章までの考察で異なる作物を導入し、その輪作形態を考慮した結果として、その重要度が低いことが示されたことによる単純化である。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軽減策は、費用便益の増減を伴わないか、もしくは伴う費用便益が増減する構造が単純であるので、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。

本論で一貫して扱っている塩類集積問題の可逆性の判定は微妙である。第2章で述べたように、広義の塩類集積は、地下水面の上昇であるウォーターロギング、狭義の塩類集積、アルカリ化に分類できる。前者の二つはそれだけでは可逆的である。ただし、狭義の塩類集積の進行は土中のナトリウム濃度の増加を招き、三つ目に挙げたアルカリ化につながる。このアルカリ化は、ほぼ不可逆である<sup>4)</sup>と第2章では述べたが、その改善が可能、つまりある程度可逆的であるという評価<sup>5)</sup>も存在する。ただし、可逆的であるにしろ、費用効果を考慮すれば、いったん進行したアルカリ化を改変しなおす必要性は、世界的長期的視野からの要請を除けば、非常に低い。このように、アルカリ化を含めた評価は、不確実要素が多い上に、段階としてアルカリ化を含まない評価研究がなされてこなかったもので、本章ではアルカリ化を考察対象から除外する。

その上で、第1項3に示した条件を満たすために、以下の評価枠組みを採用した。まず、土地の価値としては、その生産性のみに着目する。初期条件として問題がない圃場を想定し、結果として問題が発生する場合の、純便益の予測評価を行う。環境のより持続的利用と、より持続的でない利用のそれぞれを体現した代替案を立案し、比較、選択のための情報整理を行うことにより、環境容量の維持から得られる社会厚生と、環境利用以外がもたらす社会厚生のバランスの取り方を意思決定主体に委ねることを可能にする。

代替案の立案にあたっては、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、着目している土地の生産性、持続的利用、社会厚生に関し、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

III：スプリンクラー式灌漑施設を導入し、地下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

表 6-1：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<br>塩類集積 | 初期の収量 | 将来の収量 | 外部不経済<br>(下流域の塩<br>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)                   |

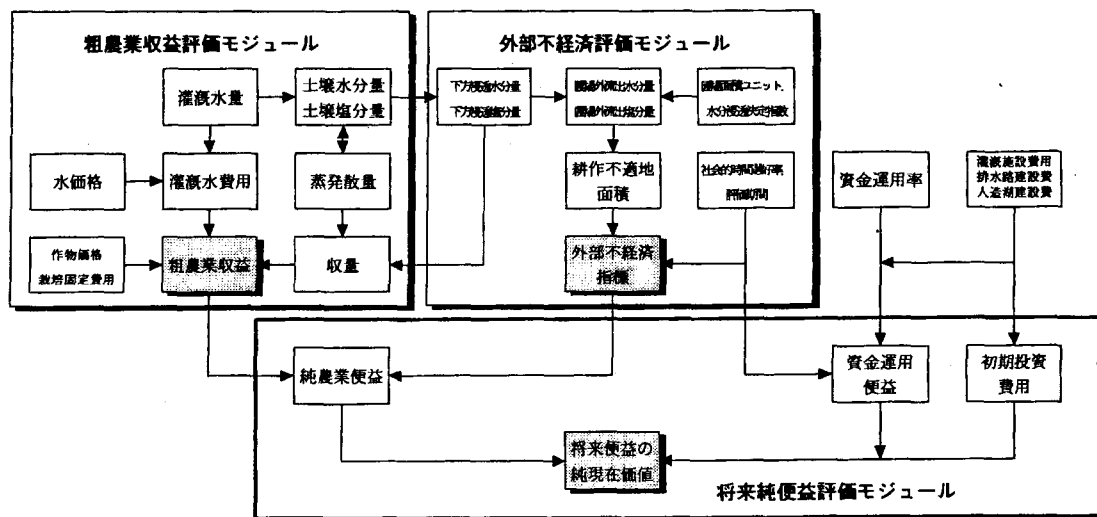


図 6-2：シミュレーションの構造と主要変数間の関係

各代替案の特徴を表 6-1 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、土壌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、ここでは扱っていないことを触れておく。

評価対象事象ごとの貨幣換算可能性については、第 4 章において、塩類集積の潜在性

としての地下累積塩分量を、敢えてそのままの形で表現した。これに対し、本章ではこの地下累積塩分量の潜在的な塩類集積の発生ポテンシャルを、現実の単純化、抽象化を経て一つの異なる形態で表現することを試みる。情報の質として、第4章の様により少ない仮定に基づいた抽象的なものと、本章におけるようにより多くの仮定に基づきより具体化したものと、どちらが望ましいかは、また意思決定主体の選択によるので、本章では試みとしてこのような貨幣価値のみに統合した表現形態を採る。第1項の2に示したように、効用の形態での評価法は採らない。

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6-2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6-2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(6-1)～(6-5)に従って求める。

$$NPV_I = \frac{(1+\rho)^T}{(1+r)^T} (CI+CD+CAP) - (CI+CD+CAP) \quad (6-1)$$

$$NPV_{II} = \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+r)^t} (pY_{II} - wQ_{II} - RCC) + \frac{(1+\rho)^T}{(1+r)^T} (CD+CAP) - (CI+CD+CAP) \quad (6-2)$$

$$NPV_{III} = \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+r)^t} (pY_{III} - wQ_{III} - RCC) + \frac{(1+\rho)^T}{(1+r)^T} (CD+CAP) - (CI+CD+CAP) \quad (6-3)$$

$$NPV_{IV} = k_{VDP_{IV}} \left[ \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+r)^t} (pY_{IV} - wQ_{IV} - RCC) \right] + \frac{(1+\rho)^T}{(1+r)^T} CAP - (CI+CD+CAP) \quad (6-4)$$

$$NPV_V = k_{VDP_V} \left[ \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+r)^t} (pY_V - wQ_V - RCC) \right] - (CI+CD+CAP) \quad (6-5)$$

なお、以下全ての式中の各記号の定義を表6-2に整理した。NPV<sub>II</sub>～NPV<sub>V</sub>の第1項では純農業収益（NPV<sub>IV</sub>、NPV<sub>V</sub>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。IV、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。

表6-2：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>6)</sup> を参考に，Sep.15~July 25.                                                      |
| me                    | FAO <sup>7)</sup> ，Dmitriev <sup>6)</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層に分割した根圏域の圃場容水量。Kosugi <sup>8)</sup> より78[mm/30cm].                                         |
| PWP                   | 1層 30cm の4層に分割した根圏域の永久しおれ点。Kosugi <sup>8)</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>9)</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層に分割した根圏域の各層からの蒸発散の割合。FAO <sup>10)</sup> を参考に50:25:15:10.                                   |
| $\theta_n$            | 土層ごとの栽培開始時の初期土壌水分量。0, 30, 37, 41[mm/30cm].                                                            |
| co                    | 灌漑水質。舟川他 <sup>11)</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壌塩分量。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>6)</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数。FAO <sup>7)</sup> より0.2, 0.6, 0.5.                                          |
| eic                   | スプリン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>6)</sup> より0.1382[\$/0.1ha].                                                      |
| w                     | 灌漑水価格。Dmitriev <sup>6)</sup> より0.000508[\$/m <sup>3</sup> ].                                          |
| Wtin                  | 初年の栽培開始時の地下水面深度。Ogar <sup>12)</sup> ，Plisak <sup>13)</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>6)</sup> より550[mm].                                                    |
| ETmax1~3              | 第2,3,4成長期の可能最大蒸発散量。Dmitriev <sup>6)</sup> より240, 90, 139[mm].                                         |
| 操作変数                  |                                                                                                       |
| l <sub>ET</sub>       | 日蒸発散量決定指数。標準設定値として0.45.                                                                               |
| rwdef                 | 栽培開始時の土壌水分不足量に対する灌漑水量の比。Dmitriev <sup>6)</sup> より0.55.                                                |
| km                    | 栽培開始時を除く，栽培中の灌漑回数。Dmitriev <sup>6)</sup> より3[回].                                                      |
| id                    | 栽培中の灌漑日時。Dmitriev <sup>6)</sup> よりMay 16, Jun 2, June 19.                                             |
| Q(Q <sub>II~V</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層に分割した根圏域の各層の土壌水分量 [mm/30cm].                                                               |
| ET                    | 一日の蒸発散量[mm/0.1ha].                                                                                    |
| a, b                  | 式(3-2)中の蒸発散推定のための未定係数.                                                                                |
| i                     | 1層 30cm の4層に分割した根圏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数。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の[mm/0.1ha].                                                                     |
| Y(Y <sub>II~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壌塩分濃度。FAO <sup>10)</sup> より6.0[mS/cm].                                                   |
| A <sub>pp</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.                                                                               |
| rxs                   | 式(6-12)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6-3に示した下流域の上流からの距離[m].                                                                               |
| B                     | 式(6-12)の耕作不適地面積の予測に使われる係数.                                                                            |
| DP                    | 圃場内の根圏域以下の下方へ浸透する水分量[m <sup>3</sup> /0.1ha].                                                          |
| DPc                   | 圃場内の根圏域以下の下方へ浸透する塩分量[mol].                                                                            |
| DR <sub>0</sub>       | 式(6-10)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(6-8)で与えられる排水路内の総排水量[m <sup>3</sup> ].                                                               |
| DRc                   | DRに含まれる塩分量。排水路内総塩分量[mol].                                                                             |
| X                     | 式(6-12)，図6-3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>D</sub>        | 200Uで与えられる考察対象圃場面積[0.1ha].                                                                            |
| k <sub>VP</sub>       | 式(6-14)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>JD</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].                                                                     |

表 6-2：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（続き）

| 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>6)</sup> より 27.49 [\$/0.1ha].         |
| CI                       | 灌漑施設導入費用。エイワスプリンクラー内部資料より 350 [\$/0.1ha].                            |
| CD                       | 排水路建設費用。Dmitriev <sup>6)</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>0D</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].                                    |

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。割引率に関しては，第 5 章で述べたように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。また，その値は意思決定主体が選択可能なように，操作変数として扱う。

### 第 3 項 粗農業収益の計量<sup>2, 3)</sup>

粗農業収益とは，式(6-2)～(6-5)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・塩分収支計算は，基本的に第 3 章の水分収支モデル，第 4 章の塩分収支モデルに準じ，鉛直方向に 30cm の四層に分割した根圏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，土壌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。根圏域の最下層以下，地下水面までの土壌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，初期地下水面 4000mm の地下水系を仮定する。代替案 IV，V では，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面は 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，土壌水分中の塩分の拡散，土壌中の吸脱着等は考察から外した。

水分収支計算，塩分収支計算，蒸発散推定は第 3 章，第 4 章に記した方法に従う。日蒸発散量決定指数である  $I_{ET}$  の導出に要する，一日あたりの理想的蒸発散量  $f$  や，気象

庁で月別に観測されているポテンシャル蒸発量 $at$ 等のデータはカザフスタン気象庁よりデータ提供を受けた。各層からの蒸発散量の寄与度については、ここではFAO<sup>10)</sup>を参考に、50:25:15:10の比で発生すると仮定した。冬小麦の成長特性を単純化し、蒸発散の源である土層は、休眠以前は第1層のみ、休眠以降は4層全てと仮定した。栽培期間と翌年の栽培期の間の休閑期の期末の各層土壌水分量は、現地での灌漑計画書に基づき設定した。

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>7)</sup>

$$(1-Y/Y_m) = ky(1-ET_a/ET_m) \quad (6-6)$$

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 $ip$ ごとの収穫率を求め、

$$ky = (\sum kyipET_{dip})/ET_d \quad (6-7)$$

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>6)</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。この手続きの詳細は第4章におけるものと同様である。

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、地下水面が根圏域を犯し始める年の収量を100%、地下水面が0m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。

#### 第4項 外部不経済の計量<sup>2, 3)</sup>

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(6-4)、(6-5)の $k_{vdp}$ で表現されるが、以下では、 $k_{vdp}$ 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6-3の様に単純化し、上流では基本ユニットの20haの圃場群(1U)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。

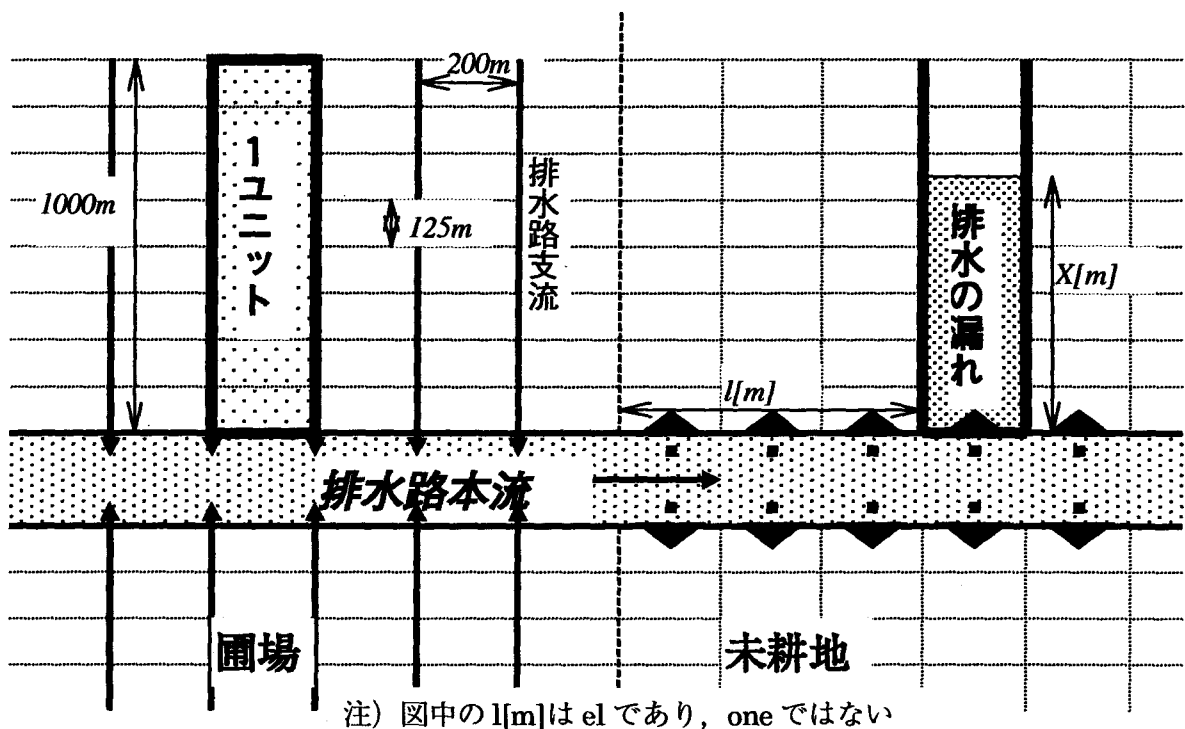


図 6-3 単純化した上流の圃場，及び下流の未耕地の系設定

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，排水路近傍土壌での土壌水分量，及びその場での水分収支状況等に依存し，同塩分量は(3-1)，(4-1)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，本章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，本章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，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>6)</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  $l$ [m]における排水流量は、

$$\begin{aligned} DR &= DR_0 \times 0.6^{\frac{l}{6000}} \\ &= DR_0 \exp(-8.51 \times 10^{-5} l) \end{aligned} \quad (6-8)$$

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

$$\begin{aligned} \Delta DR &= DR_0 \exp(-8.51 \times 10^{-5} l) - DR_0 \exp(-8.51 \times 10^{-5} l + \Delta l) \\ &= 0.0169 DR_0 \exp(-8.51 \times 10^{-5} l) \end{aligned} \quad (6-9)$$

となる。また、 $DR_0$  は

$$DR_0 = 200U \times DP \quad (6-10)$$

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、排水路近傍の土壌での水分収支は、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、一日単位程度の土壌水分量、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、本モジュールで最終的に求める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にとどめる。

図 6-3 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 6-4 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、

$$X = gt \quad (6-11)$$

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によって<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、

$$X(t) = -150 \exp(-Bt-1) \quad (6-12)$$

ただし、 $(dX/dt)X=0 = 150B < g$

$$B > 0$$

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(6-12)より  $X$  がまず求められる。更に図 6-3 に示した系設定に従い、 $\Delta l$  ごとの  $X$  の値を集計し ADB を求める。 $B$  の具体的操作は、耕作不適地長さ決定指標  $rxs$  に依る。 $rxs$  は、図 6-4 の  $t=0+\Delta t$  において、(6-12)で示される曲線が通る点の  $y$  座標を、直線(6-11)が通る点の  $y$  座標に対する比で示したものである。

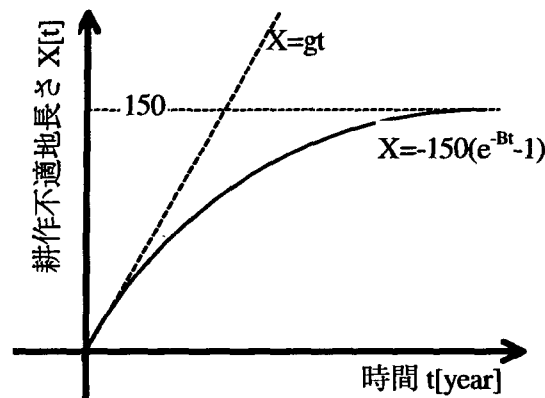


図 6-4：耕作不適地長さを表す曲線の設定方法

#### 第 5 項 将来純便益の計量<sup>2, 3)</sup>

式(6-1)～(6-5)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の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で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、

$$A_{ID}NPV_{ID}=A_{ID}NPV_{IS}-A_{DB}NPV_{ID}-\left\{\sum \frac{A_{DB}}{(1+r)^t}\right\}NPV_{ID} \quad (6-13)$$

と定式化する。なお、代替案 V は(6-13)で  $A_{DB}=0$  の場合であるので、以下では省略する。これより、 $k_{VDP}$  を

$$k_{NPV} \equiv \frac{A_{ID}}{A_{ID} + A_{DP} + \sum \frac{A_{DB}}{(1+r)^T}} \quad (6-14)$$

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、(6-1)～(6-5)から、各代替案ごとの NPV を求める。

### 第3節 シミュレーションの結果と感度分析

以下では、特定の変数を操作し、それにもなつ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。

#### 第1項 標準設定による結果

値の設定に任意性の高い外生変数、及び本章の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( $I$ )、耕作不適地長さ決定指数( $rxs$ )、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>6)</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現地の灌漑指導資料間で一致を見るように設定した。 $Q_{II}$ 、 $Q_{III}$ の具体的値は、第4章と全く同じ手続きにより、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、1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。 $rxs$ 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、本章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値を表6-2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 6-5 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ことを示している。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(6-1)～(6-5)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 6-5 より  $NPV_I$  であることがわかる。また、(6-2)と(6-3)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 6-5 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変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  $Y_{III}$  それぞれのふるまいの差が、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。

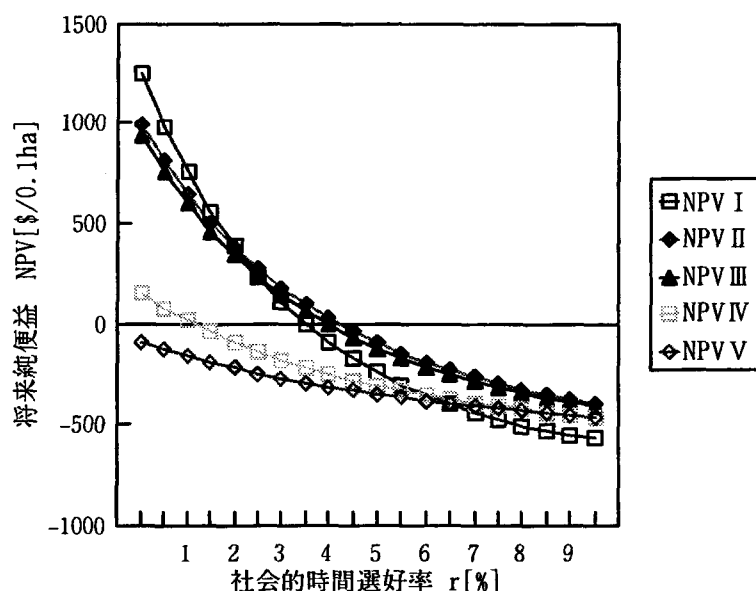


図 6-5：異なる社会的時間選好率に対する各代替案の優劣関係の変化（評価期間は 30 年）

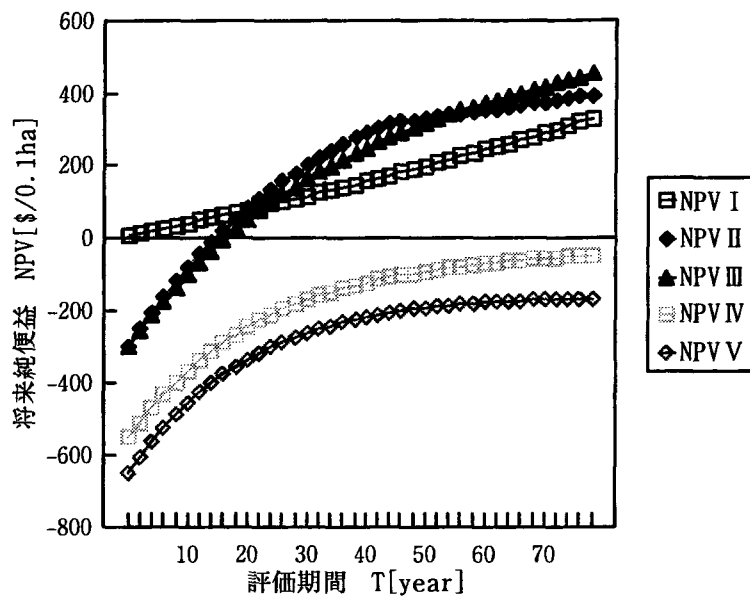


図 6-6：異なる評価期間に対する各代替案の優劣  
関係の変化（社会的時間選好率は 3.5%）

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 6-6 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。

本章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。

## 第 2 項 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  $rxs$ ,  $A_{DP}$ ,  $CAP$ ,  $\rho$  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、変動範囲は大きく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 NPVⅣが NPVⅤ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。 $rxs$ はIV、Vだけに影響を与える。図6-6に示されるIV、Vの他に対する劣性は、 $rxs$ 、 $r$ 、 $CD$ のどれに起因するものかは不明だが、図6-7に示す $rxs$ 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、 $rxs$ 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6-8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。

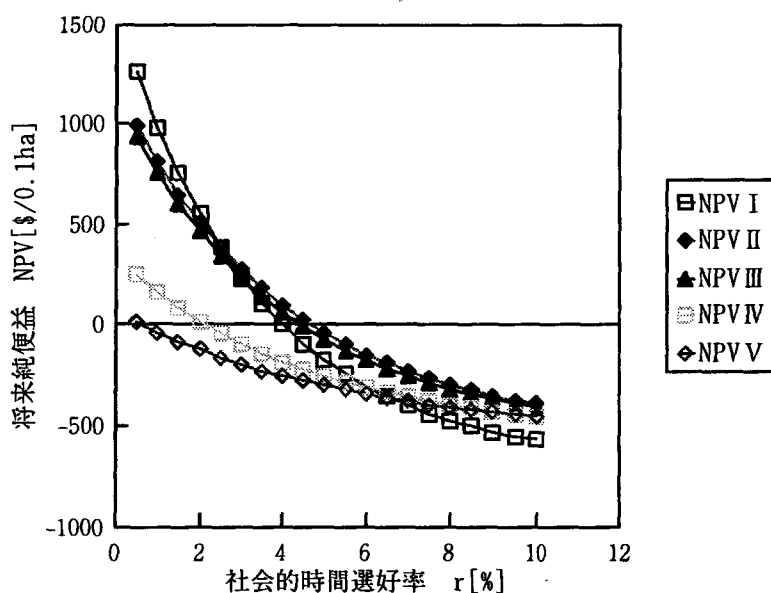


図6-7：耕作不適地長さ決定指標をゼロとした場合の将来純便益NPVの $r$ に関する感度（評価期間は30年）

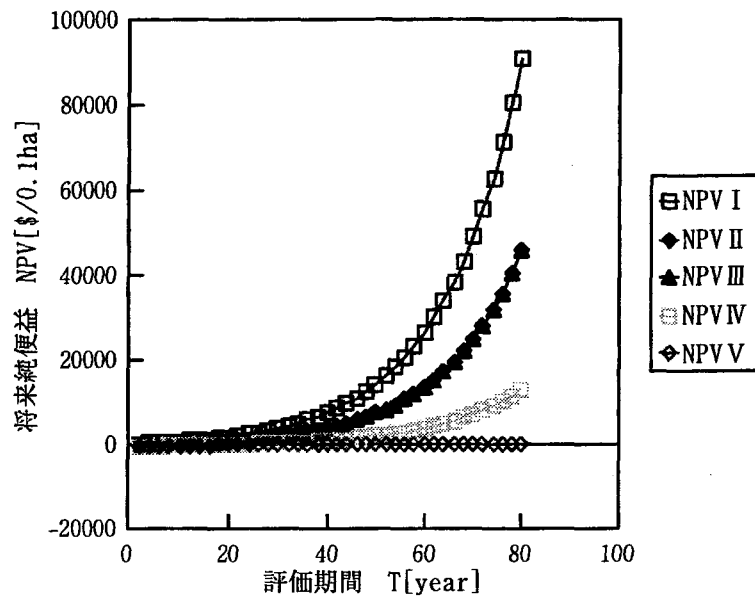


図 6-8：資金運用率  $\rho$  を 10% とした場合の将来純便益 NPV の評価期間 T に関する感度（社会的時間選好率は 3.5%）

#### 第 4 節 上流・下流間での塩類集積問題の移転に関する考察

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 6-9 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うことが多いうことが示された．

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．

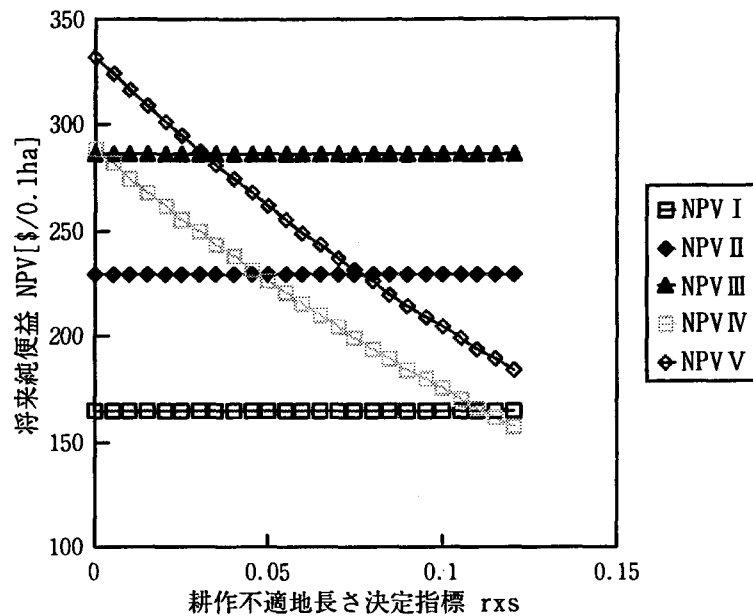


図 6-9：移転費用がゼロで評価期間が 80 年の場合の，異なる耕作不適地長さ決定指標の値に対応する代替案 IV，V の他の代替案との優劣関係群

## 第 5 節 本章の結論

以上，本章では，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競合する二つの目的の間で，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することを目的としてきた。具体的には，第一に，第 3 章，第 4 章で構築したモデルを，下流域における塩類集積発生の様子を含めた評価が可能のように拡張した。第二に，立案した 5 つの代替案について，満足化基準の指標とみなした貨幣量で表現された純便益量の計量・評価を行うよう，モデルを運用した。

以上から，本章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，意思決定の行えるモデルを構築した。具体的には，図 6-5 と図 6-6 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。
3. 本章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。

一方、成果としては以下を挙げる。

4. 第5章で整理した、持続的環境利用目的下での意思決定のための経済的・倫理的観点からの情報整理研究として、一事例を展開し、具体的に提示した。
5. 異時点間にまたがる問題の移転を扱うことで、限られた枠組みの中ではあるが、持続的環境利用と異時点間での便益配分を同時に評価した。
6. 絶対的貨幣価値におけるものではなく、外部不経済指標に含まれた形態での下流域の土地の相対的価値の評価を、持続的環境利用を目的とした農地評価例として行った。

ただし、環境利用の持続性と異時点間の便益配分は、まだ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等に関し、具体的研究の発展が必要である。

また、評価対象の単純化、モデル化、満足化原理を満たす変数として妥当な変数の選定、およびその定量化における、持続的環境利用の達成や公正さへのプライオリティーの適用作業にあたっては、その適用、および適用の妥当性を検証するシステムが存在しない。本章においては、著者の主観、立場、定性的検討のいずれに属するか微妙なものにより、いわば場当たりの可能なだけの判定を行った。今後の課題として、プライオリティー適用の検証システムの構築が望まれる。

#### 【参考文献】

- 1) 渡辺紹裕, 萩野芳彦, 清水克之 (1996) 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.
- 2) 楠美順理, 盛岡通 (1998) 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— 土木学会論文集 No.587/VII-6, pp.59-69
- 3) Kusumi, A. Intertemporal and Interspatial Selection of Irrigation Practices to Abate Salinization -Cost Benefit Analysis in Illi River Basin-, Sustainable use of natural Resources of central Asia, 日本カザフ研究会 (投稿中)
- 4) Shanan, L. (1987) The Impact of Irrigation, in Land Transformation in Agriculture, Chap.5. I, Wolman, M.G., Fournier, F. G. A., Eds., John Wilen, pp.115-131
- 5) 松本聡 (1977) イランの乾燥地にみる塩類土壌, 化学と生物, 15, pp.243-250
- 6) Dmitriev, L.N.編纂: カザフスタン農業アカデミー内部資料.
- 7) FAO (1986) Yield Response to Water, Irrigation and Drainage Paper 33, pp.1-170, FAO.
- 8) Kosugi, K. (1994) Three-parameter lognormal distribution model for soil water retention, Water Resour. Res., vol.30, No.4, pp.891-901, April.
- 9) FAO (1989) Crop Water Requirements, Irrigation and Drainage Paper 24, pp.1-2, FAO.

- 1 0) FAO (1989) Water Quality for Agriculture, Irrigation and Drainage Paper 29, pp.16-31, FAO.
- 1 1) 舟川晋也, 小崎隆, 鈴木玲治, 石田紀郎 (1996): カザフスタン大規模灌漑農業における土壌塩性化の実体, 農土誌, 64(10), 1017-1021
- 1 2) Ogar, N.P. (1985) 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. (in Russian)
- 1 3) Plisak, R.P. and Ogar, N.P. (1991) The influence of water reservoirs on vegetation in arid zones. Nauka, Alma-Ata, pp.186. (in Russian)
- 1 4) 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. (1977) Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil, Utah Water Res. Lab. Publ. PRWG151-1.
- 1 5) 舟川晋也, Elmira Karbozova, 鈴木玲治, 小崎隆 (1995) イリ川及びシルダリア川水系区における土壌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

## 第7章 本論文の結論と今後の課題

ここまで6章にわたり、本研究では、将来の人口問題、食糧生産・供給問題からみて、農業開発と土壤保全の必要性がいずれも高く、本質的な技術的対策が明らかになっていない塩類集積問題を題材としてきた。その塩類集積問題が紀元前から乾燥地農業の恒常的課題として存在し続けている原因として、長期的灌漑農業の持続と短期的農業収益の追求という二つの目的の競合に特に着目し、その状況での意思決定をとりあげた。具体的には、まず、圃場内の灌漑戦略に応じた農業収益と圃場内外の塩類集積発生の程度の評価を可能にするモデル構築をした。その上で、圃場内の灌漑に伴う費用と効果の評価による灌漑戦略の考察を行った。また、持続的環境利用の意思決定のための経済的・倫理的評価枠組みの考察を行った。そして、最終的に排水先の下流域への影響を費用に含めた費用便益評価による灌漑開発戦略の考察を行った。これらを通して、上述の二つの競合する目的間での意思決定を可能とするようモデル開発とシステム構築を行った。

まず、第1章では、近年、社会的により注目されるようになってきた環境問題全般についてその共通性格について簡単に整理した上で、本研究の位置づけを行い、目的と本論文の構成を示した。

第2章では、人口問題と食糧生産・供給問題を概観した上で、本論文が取り扱う沙漠化問題と塩類集積問題の概観、位置づけをし、具体的に注目する塩類集積問題の物理的発生機構と、長期的灌漑農業の持続と短期的農業収益の追求という二つの目的の競合状態を明示し、塩類集積の問題構造を明確化した。

第3章では、上記の二つの競合した目的間のトレードオフ関係の定量化、具体的には灌漑によって収量が変化し、圃場内塩類集積が生じる様子を再現するシミュレーションモデルの構築を目的とし、イスラエルの実験圃場ギラットにおける水分収支モデルを構築した。モデルは、灌漑水量、作物年配列を主要操作変数、長期的便益を最終評価対象変数とし、ドライビングモジュール、作物栽培期モジュール、休閑期モジュール、排水モジュールで構成される。作物モジュールでは、蒸発散推定、土壤水分量予測、収量予測を行った。通年の水分収支のシミュレーションのために、休閑期モジュールでは、休閑期における土壤水分量の変動を取り扱った。排水モジュールでは、地下水面の高さに応じた排水施設の導入を取り扱った。ドライビングモジュールでは、これらモジュールを統括し、最終評価対象変数の計量を行った。水分収支モデルの構築により、以下が結論として得られた。

1. 水分収支モデルの構築により、実験圃場ギラットにおける灌漑農業の長期的影響の評価を可能にした。従って、同圃場内における既述のトレードオフ関係の定量的評価をも可能とした。
2. 圃場の特性を与えるデータを収集すれば、乾燥地・半乾燥地の他の圃場への同モデルの利用が可能である。また、他の圃場に同モデルを適用すれば、塩類集積のリスクのもとでの灌漑農業の長期的評価をするために有用な、将来純便益、外部不経済

をもたらし地下浸透水分量に関する情報整理が可能である。

3. 同モデルを特定の他の圃場に適用することで、塩類集積のリスクのもとでの灌漑農業の長期的評価のために収集が必要なデータ群を特定できる。

**第4章**では、圃場内の塩類集積の発生に関する塩分収支の観点からの可能性と、圃場外に塩類集積を及ぼす潜在性を持つ地下累積塩分量の効果を考察するため、第3章で構築した水分収支モデルに塩分収支予測を加えた塩分収支モデルを構築した。モデル構築としては、最終評価対象変数に地下累積塩分量を加えたこと、作物栽培期モジュールに土壤塩分量予測を加えたこと、が主要な改良点である。さらに、イスラエル国内で塩類集積の顕著なイズリル谷において、代表的な灌漑戦略ごとの費用と効果をモデル運用により推定し、灌漑戦略の選択を可能とする情報の集約を、定性的・定量的検討により行った。定性的検討を通し立案した代替案は、以下の3通りである。それぞれ、1) 各年における純便益を最大化する短期的便益最大化戦略、2) 長期的に地下水面の高さを保全しウォーターロギングを防ごうとする地下水量保全戦略、3) 各年における作物の収穫量を最大化する短期的収量最大化戦略、である。純便益は、具体的には貨幣換算量である将来純便益の現在価値と、非貨幣換算量である根圏域以下への累積塩分量に分けて評価した。以上により結論として以下の6点が得られた。

1. 塩分収支モデルの構築により、圃場内の塩類集積被害は主にウォーターロギングとして発生するものであり、第4章の枠組みでは、根圏域内の土壤塩分自体の蓄積は灌漑水量の塩分濃度の操作によって簡単に操作できることであるということが示された。
2. 水分収支モデルの拡張としての塩分収支モデルをイズリル谷に適用したことにより、塩分収支計算と冬小麦の収量予測方法を除いたモデルの中核は、他の圃場にも適用可能な、汎用性を持ったものであることが示された。
3. 両モデルに共通なモデルの中核が用意されたことで、他の圃場に適用するために必要なデータ群の特定が容易である。
4. 灌漑戦略比較にあつては、s3の絶対的劣性が確認された。
5. 貨幣価値に限った灌漑戦略の比較では、ウォーターロギング防止の排水施設導入費用を内部化したにも関わらず、s2の劣性が確実に示された。
6. 貨幣価値と非貨幣価値を併せた灌漑戦略の比較では、s1とs2の優劣関係については意思決定主体の選好なしでは判定が不可能であるが、意思決定主体が意思決定のできるような情報の整理をした。具体的には以下の3点を示した。
  - 6-1. 図4-7と図4-8の一組により、貨幣で表現される便益と下流域・周辺域に塩類集積を及ぼす潜在性との間のトレードオフ関係を、異なる評価期間ごとに示した。
  - 6-2. 図4-10により、異なる割引率ごとの貨幣で表現される便益を示した。
  - 6-3. 図4-12により、評価期間ごとに、排水施設を導入するに値する自然排水量 $nd$ の閾値を示した。

**第5章**では、持続的な環境利用を目的として、意思決定のための経済的・倫理的評価

の枠組みとして、相応しいものの検討をした。具体的には、意思決定は一般に効率的で公平である必要がある、とされることを言及した上で、まずは経済的に効率的であることの実現可能性、効率的であるために必要な合理的であるための十分条件、経済的効率性と持続的環境利用の両立可能性について検討した。次に、いわゆる公平性は公正さを指すことを示した上で、公正であるための必要条件を検討した。さらに、異時点間にわたる公正さと持続的環境利用について、前者の実現可能性と両者の両立の可能性について検討した。最終的に、広義の費用便益分析を基礎とした評価の枠組みを検討するため、評価対象の範囲、費用と便益の計量方法・次元・統合可能性について検討した。具体的には、持続的環境利用を目的とした場合の価値理念の経済評価における価値理念との乖離具合を示した上で、公正さを実現するための制約条件、割引率の取り扱い、不確実性の取り扱いについて言及・検討した。

以上より、結論として以下を得た。

1. 評価対象主体が合理的である、もしくは超合理的である、ということは不可能であるので、ある種の限定合理性を仮定する必要がある。具体的には、情報の完全性の達成を妥協する際は、妥協の優先順位を明確にする必要がある。第一プライオリティーは目的としている持続的環境利用に、第二プライオリティーは公正さに置く必要がある。
2. 代替案選択等に関する社会的意思決定機構としては民主主義、もしくは社会的に認められている制度が完備されていると仮定し、それを所与とする。
3. 意思決定主体が判断可能な形で、満足化原理を満たす変数として妥当な変数の定量化を、妥当な単位のまま行う必要がある。妥当な変数の選定・選別、および、それらの統合にあたっては1と同様のプライオリティーに従い、定性的評価を添える必要がある。
4. 衡平性とパレート効率性の両者を満たす公正さは、第1に手続きの公正さによってある程度達成される。第2に、結果としての効用分配として理念的に望ましいものは一義的には決まらず、公正な手続きによって意思決定者の決定を可能にするよう、関連情報の整理を行うことまでが、評価研究で可能なことである。
5. 環境容量の維持から得られる社会厚生と、環境利用以外がもたらす社会厚生のバランスは、対象とする環境問題の可逆性に依存するため、その可逆性に応じて個別に評価される必要があり、そのバランスに関する普遍的で具体的な望ましさの理念は存在し得ない。
6. 異時点間の公正さの達成として、将来世代を含めた手続き上の公正さの達成は不可能であり、現世代のみによって結果としての効用分配について、できる限りの公正さを実現させる必要がある。
7. 広義の費用便益分析における費用と便益の評価は、評価対象の貨幣換算の可能性に従って異なる単位で計測する必要がある。
8. 衡平性とパレート効率性の両者を満たす公正さの、結果としての効用分配を検討す

る際、第一に補償の潜在的実行可能性を仮定してはならない、第二にアロウの一般可能性定理が示す4つの条件を同時に満たすことをあきらめなくてはならない、という制約条件が存在する。

9. 環境の持続的利用を目的とした経済評価では、評価対象の貨幣換算可能性と、評価目的に応じ、その都度、妥当な評価の枠組みを設計し、更に、社会的時間選好率の具体的値として意思決定者が妥当な値を自由に選択できるよう、割引率自体を変数としたままで提示することが必要である。
10. 評価期間についても割引率同様、評価対象の貨幣換算可能性と、評価目的に応じ、その都度、妥当な評価の枠組みを設計し、更に具体的値として意思決定者が妥当な値を自由に選択できるよう、評価期間自体を変数としたままで提示することが必要である。

最後に、第6章では、第3章、第4章で構築したモデルを下流域の効果を包含できるものに拡張した上で、排水先の下流域の塩類集積の発生と効果の評価を可能とするモデルを構築した。また、持続的な環境利用を目的とした意思決定のための経済的・倫理的評価の枠組みとして第5章で検討したものの、具体的事例評価例として費用便益評価枠組みを構築した。これらを、世界的に塩類集積問題のもっとも顕著なアラル海周辺域の存するカザフスタンのイリ川流域において展開した。具体的には、技術的に可能な全ての改善策を講じたと仮定した上で、尚生じざるを得ない塩類集積被害の、将来、下流域へのどのような移転が地域社会の灌漑農業部門の長期的便益をより多くするか、外部性を内部化した上で総合評価した。5つの異なる灌漑、排水開発代替案Ⅰ) 農業開発のない状態、比較対象としての現状、Ⅱ) スプリンクラー式灌漑施設の導入と短期的収量最大化目的の灌漑水量による灌漑方式、Ⅲ) スプリンクラー式灌漑施設の導入と地下水量保全目的の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の集中排水を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、を立案し、シミュレーションにより各代替案の将来純便益の比較を行った。シミュレーションは、第3章、第4章のモデルに相当する粗農業収益評価モジュールの他、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)を最終評価対象変数とした。各代替案ごとにNPVを計量し、塩類集積の下流への空間的移転と将来への置き換えに相当する時間的移転に着目し、灌漑開発戦略の選択を可能とするよう、必要要件を提示した。

以上から、結論と成果として以下を得た。

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、意思決定の行えるモデルを構築した。具体的には、図 6-5 と図 6-6 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。

3. 第 6 章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。
4. 第 5 章で整理した、持続的環境利用目的下での意思決定のための経済的・倫理的観点からの情報整理研究として、一事例を展開し、具体的に提示した。
5. 異時点間にまたがる問題の移転を扱うことで、限られた枠組みの中でではあるが、持続的環境利用と異時点間での便益配分を同時に評価した。
6. 絶対的貨幣価値におけるものではなく、外部不経済指標に含まれた形態での下流域の土地の相対的価値の評価を、持続的環境利用を目的とした農地評価例として行った。

以上、本論文では一貫して、乾燥地の灌漑農業における長期的灌漑農業の持続と短期的農業収益の追求という二つの目的間の競合について考察を行い、それに対して最も望ましい対策の検討をすることを可能とする、情報の整理と提供をすることを最終的目標としてきた。自然科学的に、そして社会科学に多くの検討を重ねた結果、最も望ましい灌漑・排水戦略の選択は、意思決定主体達の選好・効用関数系に主に依存する微妙なものであることが示され、以上では公正な意思決定のために、比較的簡便に整理された情報の提供を行った。

各事例の研究は、その背後に存在する普遍的問題、つまり、乾燥地の灌漑農業における長期的灌漑農業の持続と短期的農業収益の追求の間での、避けがたい塩類集積を時間・空間的にどのように移転させれば、我々が納得し得るかを問うもので、ひいては環境問題全般に対する環境の持続的利用のあり方を問うための布石であった。それには、環境利用の持続性と便益の長期的最適化が同時に評価される必要があった。これに対し、従来の動的最適化手法は、第 5 章で指摘したような貨幣換算の困難な環境評価には向いていないと著者は考えるが、本論で展開した研究もまた、以上の経済評価手法上の理論的問題に対処する代替策としては不十分なものである。具体的には、消費と投資の分配問題や、異時点間・異世代間便益移転評価手法等の発展、更には、環境容量の維持という自然科学的要因と社会厚生により満足化レベルの高く、公正さの達成された状態という社会科学的要因の、統合的評価が必要であり、本論はいわゆる「無知の知」を若干明らかにしたに過ぎない。

環境を持続的に利用するための具体像は、塩類集積問題に限っても明確には見えなかった。人口問題、食料生産・供給問題への対策に限らず、地球規模での環境保全は、経済学的に言えば超長期的問題である一方、0%でない割引率を用いた経済評価の評価期間は大体 50 年が限界であり、経済評価は環境問題の解決に対し非常に微力でしかない。一方で、環境問題は明らかな社会的問題であり、環境容量の認知とその厳守を唱えたと

ころで解決し得るものではない。この様な問題を現代の社会科学が扱うには、その水準はあまりにも未熟である。持続的環境利用が如何に可能であるのか、理念的にですらその方向性はまだまだ未解明であり、今後の関連諸研究の発展が待たれる。

## 謝辞

本論文は、大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻博士後期課程における研究成果を中心に、著者のこれまでの環境問題に関する学習を学位請求論文としてとりまとめたものであります。本論文の執筆を進めるにつれ、自分の無知さ、未熟さを改めて痛感致しましたが、結果、博士号というものは、少なくとも私にとっては独力で学習するノウハウを身につけた証であると理解するようになりました。これを契機に、初学者として少しでも先達の残したものを吸収し、また、少しでも有意義な研究成果を挙げることで、社会に恩返しができたら、と思っております。

本研究の遂行、および本論文の執筆にあたっては、指導教官である大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻 盛岡 通 教授に、他では得られたいご指導をいただきました。どれだけ身につけられたか定かではありませんが、もともと理学的発想の強かった私に、システム分析的視点、工学的センスや論理性等、数多くを、研究に対する様々な動機付けとともにご教授いただきました。ここに、謹んで深甚なる謝意を表します。

また、本論文を査読いただいた、大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻 笹田 剛史 教授 および 藤田 正憲 教授には、本研究の本質的課題について更に掘り下げ、丁寧な指導をいただきました。ここに、深謝致します。

本研究の基礎をなす灌漑農業に関する知識やシミュレーションモデル構築の技術は、イスラエル留学時に、The Hebrew University of Jerusalem, Faculty of Agricultural, Food, and Environmental Quality Sciences, Agricultural Economics & Management の Professor Yaron Dan および、同校の Soil and Water Sciences の Dr. Wallach Rony に熱心にご教授いただいたものです。ここに、深く謝意を表します。

日本カザフ研究会の諸先生、およびカザフスタンの Dmitriev L.N.氏、Temirbeov S.さんには、カザフスタンのデータ収集で、一方ならぬお世話になりました。特に、京都大学農学研究科の石田 紀郎先生には、カザフスタンのアパートでの共同生活を通じ、社会問題に対する姿勢から人間教育まで、非常に大切な多くのものを授けていただきました。日本カザフ研究会、およびカザフスタンの諸先生方に、心から感謝申し上げます。

京都大学人間・環境学研究科の北畠佳房先生には、筑波大学環境科学研究科在籍当時以来一貫して、環境経済学の方角性を示していただきました。深甚なる謝意を表します。東京大学農学生命科学研究科の松本聡先生には、乾燥地農業と塩類集積に関して方角性を示していただきました。京都大学農学研究科の嘉田良平先生には、農学における環境経済学適用の方角性だけではなく、人間教育まで授けていただきました。いずれの先生も、公的な関係が何もない中で嫌な顔一つせず多くのものを与えて下さいました。ここに、心からの謝意を表します。

明治大学短期大学の竹内憲司さん、明治大学経営学部の松野裕さん他はてな研究会の皆さんには、研究会でのディスカッションを通じて、環境経済学、経済学一般に関する知識を授けていただきました。心よりお礼申し上げます。

大阪大学大学院工学研究科環境工学専攻藤田壮助教授、吉田登講師をはじめ同盛岡研究室の皆さんには、研究や研究遂行に関し、様々な面から励ましと助言をいただきました。心より感謝いたします。

最後に、研究生活をあらゆる面から支えてくれた Blanis Dimitris, Nyilas Ágnes 他、多くの友人と、母に心から感謝致します。

学問的にも精神的にも未熟な私に様々な形でサポートして下さいました皆様の合作というべき本論文を、お世話になった皆様に捧げます。

1998年7月