

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「水の循環系モデリングと利用システム」
研究課題「黄河流域の水利用・管理の高持続性化」

研究終了報告書

研究期間 平成13年12月～平成19年3月

研究代表者:楠田 哲也
(九州大学大学院工学研究院 特任教授)

1 研究実施の概要

(1) 研究構想

黄河流域において、既存の水文・水理・水質・気象・土壌・地質・地形データ等を収集・蓄積し、流域の淡水供給と水循環、農業生産、土壌浸食・土砂輸送、汚濁負荷・浄化について、観測・分析・把握し、水循環の見地から、これらをモデル化する。同時に、乾燥地における節水灌漑技術、都市用水の節水方策、ならびに排水の再利用方策等、節水方策を検討し、利水過程における水消費量の削減を図りうるようにする。これらの結果をもとに、流域の現在の水収支を推定するとともに、人口・産業変化等を含めた将来の収支変化を予測できるようにし、経済効果等に配慮した持続性の高い水循環システムを選択するための新たな支援手法を提案し、同時に推定例を提示することを目的とする。

(2) 研究実施

研究実施事項は、既存データの収集と整理、土砂輸送に関わる室内基礎実験、農地や河川における現地観測、水循環要素のモデル化と要素モデルの統合化、水循環にかかる既往の水量データの再現と予測の計算、将来の水利用形態の提案・評価からなる。

上記の事項を実施するために、研究のフェーズを3分割し、「基礎の確立」（平成13、14年度；データ準備、観測準備、モデル構築、中国側との関係の確立等）、「研究の深化」（平成15、16、17年度；観測によるデータ蓄積、節水技術開発、モデル改善、水マネジメントシステム構築等）、「研究の統合化」（平成18年度；要素研究成果を基にしたシステム化、指標による判定、水循環システムの新デザインの提案等）とした。

研究は、課題を空間別、物質別の4サブグループ、および、全体を統合的に扱う1つのサブグループ、計5サブグループ（農業・乾燥地、都市、土砂輸送、流出・水資源モデル、流域水マネジメント）にて実施した。

既存データ収集・整理では、公開データの収集、非公開データのリストを作成し、他の研究者の利便性のために公開した。現地観測を、農地2地点、都市1地点、計3地点にて実施した。水循環要素のモデルを新規に開発するとともに、既存モデルがある場合にはその利用可能限界を高めて利用した。

中国側からの参加機関は中国科学院地理与資源研究所、中国農業環境可持続発展研究所（旧農業科学院農業気象研究所）、中国水利水電科学研究院、清華大学、北京師範大学、西安建築科技大学、内モンゴル農業大学である。

なお、最終年度までの本研究への参加者数は研究代表者・分担者を含め110人である。

(3) 研究成果の概要

1) 農地・乾燥地

内モンゴル河套灌漑区（年間平均降水量200mm）、内モンゴル達拉特旗慶河流域（年間平均降水量250mm）、および、内モンゴル呼和浩特市托克托県中灘郷（年間平均降水量300mm）において、土壌水分を含めて観測塔を用いて連続観測し、さらに、地形・地質による水の移動形態の差違、塩害の発生形態と生育植物の関係、農地における水収支を調査するとともに、安定同位体にて蒸発比率を確認し、加えて、節水・塩類化防止型灌漑手法を開発した。

主要成果は以下のとおりである。托克托県のトウモロコシ畑では秋灌漑の水利用効率は、圃場に限っても43%以下と推定された。これは、凍土からの蒸発量が乾燥土からの蒸発量に比べて大きいことによる。秋灌漑水量を有効利用するために、冬季の土壌面を乾燥状態に維持できる技術開発を要する。また、圃場の塩害を防ぐために、過剰灌漑による地下水位上昇を抑制し、周辺地域の低塩分地下水を対象プロット内に流入させることが有効であることを明らかにした。さらに、河套灌漑区での灌漑期間中（6～9月）の単位用水量は2.6mm/dayであること、安定同位体を用いた計測にて、排水は取水時から、おおよそ30%蒸発したものであることを明らかにした。この灌漑区の排水不良地では、土壌水分蒸発の

ために、水平方向に比べ鉛直方向の塩分移動が卓越し、Na が移動して Ca が沈殿する傾向にあること、灌漑によって一時的に低下した土壌塩分濃度は、夏季の蒸発により再び表層に集積すること、圃場の微地形が灌漑水の供給量を不均一にして、その結果として不均一な塩分分布パターンが発生することなどを明らかにした。対策として、具体的な灌漑方法と圃場整備方策を提示した。

また、節水灌漑策として、ヒマワリから小麦への転作、小麦とアルファルファの混播、送水路の漏水防止のためのコーティング、秋季湛水の前に土壌表面を十分乾燥させ、除塩効果を高くする灌漑方策を採ることなどを提案した。

なお、河套灌漑区には地下水がヒ素で汚染されている地区があったので、飲料水の供給経路を把握し、患者の実態を知るために疫学調査を実施した。砒素の混入原因は、感染症防止のために浅層地下水から深層地下水の取水に切り替えたためであることが判明した。砒素中毒として、皮膚の硬化による支障が目立ったが、寿命を大きく縮めるには至っていなかった。現在では、すでに簡易水道が設置され汚染水に曝露されることがなくなっているので、これ以上、対策の必要はないと判断した。

2) 都市

2003 年より降水量の観測を西安建築科技大学屋上で開始し、既存の年間降水量データと合わせて降水特性を統計的に表現し、応用を可能にした。また、西安市自来水会社のデータ等より西安市区部の使用水量の原単位を都市部(210 ㎥/人日)と農村部(40 ㎥/人日)と推定した。2002 年より渭河を含め主要河川の水質・水量を年 4 回観測している。その結果、冬季に BOD₅ と TN は日本の生下水並の 200mg/L と 40mg/L を越えることも珍しくないが、夏季には半減することを明らかにした。

河川の水質の変化を再現するために、分布型水文モデルに渭河流域の人工系の水利用を組み込み、これに一次元移流分散方程式に基づく水質モデルを統合して渭河流域の水文・水質統合モデルを構築した。このモデルを用いて渭河の水質変化と自然浄化能をシミュレーションにより推定した結果、懸濁物質の作用が大きいことを明らかにした。

さらに、渭河流域の発展を、自然の水資源量を一定として、都市化度、人口増加と集中形態、節水・再利用度、食料自給率変化についてシナリオを設定し、コストを含めて水資源の効用の最大化を図るための手法を確立し、地域としての最適解を示すことができた。

3) 土砂輸送

黄土高原からの土砂発生と輸送量を推定するために、先ず、基礎研究として、高濃度水の抵抗則と流砂量の表現式形を検討した。その結果、材料が細砂の場合には、泥流型土石流モデルで、シルト、微細砂の場合は、ニュートン流体モデルが良く適合することを明らかにした。これをもとに、黄河中流支川の窟野河(粗砂-微細砂で構成)、大理河(シルト、微細砂で構成)での水理・水文観測点における雨量と流量の観測値から流出係数を算出し、流出係数は $f_0=0.05-0.62$ 、ピーク流出係数は $f_p=0.05-1.57$ となることを示した。両者の表現に適合するモデルは基礎実験の結果と同じであった。

さらに、貯留関数法を水文観測点での流出予測に使用できたので、上述の抵抗則と流砂量式を用いて流砂量ハイドログラフを求めた結果は実測値と概ね一致した。さらに、この観測点の流量ハイドログラフを境界条件とした河床変動シミュレーションにて、任意の地点における流量、流砂量ハイドログラフを予測することができた。

4) 流出・水資源

水文、気象データをもとに黄河流域 50 年間(1951~2000 年)の平均降水量は 435mm/yr、平均蒸発散量は 360mm/yr、流出量は 75mm/yr、蘭州より上流の流域面積は全流域の 1/3 で、流出量は全流域の 6 割になること、1970 年代には人間がまったく取水しないときの流出量

の 51.5%、1980 年代には 54.8%、1990 年代には 67.1%が人為により消費され、このうち灌漑用水は 80~90%を占めることを明らかにした。また、分布型流出モデルを 10km メッシュ単位で構築し、地表の条件設定に人工衛星による観測結果も利用し、黄河全流域の流出解析を実施した。上流の唐乃亥では良好な一致を示す一方、下流では、新たなダムが供用されると、操作規則が未公開のため、一致の程度は少し低下した。このモデルにて、1951~2000 年の 50 年間の水資源賦存量と流出量を推定し、黄河断流の基本的原因は灌漑用水の過剰取水によるが、1990 年代に断流を悪化させた主原因は気候変動にあることを明らかにした。さらに、黄河流域を 8 分割しサブ流域ごとの流出の変動性を算定したところ、流域の上流端と下流端ならびに流域の南側において降水に対する流出感度が高いこと、つまり、中流域では降水量が増減しても河川流量はあまり変動しないことを明らかにした。加えて、この分布型流出モデルを都市グループの水質モデルと一体化し、水量・水質統合型モデルを構築した。

5) 流域水マネジメント

黄河流域の縣市を単位として、上流からの取水・利用・還元を考慮した水資源需給の空間構造を分析するための方法を開発した。この方法を用いて、1997—2000 年の水資源需給の構造を再現し、水資源需給アンバランスが発生する機構について考察したところ、降水量が少ないことに加えて水消費量の増加が水不足問題の根底にあることを明らかにした。

応用一般均衡モデルと産業構造変化シナリオに基づいた水資源需給モデルを開発し、人口・社会経済フレームを設定し、食糧生産などの水需要予測、および水供給予測の各モジュールからなる分析モデルを構築した。また、シナリオを与えて、経済成長の地域格差が水需給ギャップに与える影響について分析し、経済成長が大都市に偏るほど、成長都市における水資源の需給ギャップが拡大することを明らかにした。一方、排水システムが普及すればするほど水需給ギャップは緩和されること、特に経済活動が集中している大都市において下水道整備がより効果的であることを示した。

経済成長にともなう食料需要の変化が流域の水消費に与える影響をあわせて検討した。この影響は小麦の場合が最も大きい。中国全体で所得が 8%増加した場合、流域内外の小麦需要の増大に伴う流域内の農業用水の増加量は約 900 万 m³となる。農業用水需要の増加は、河南省、山東省、寧夏回族自治区の順に大きい。これらの省の場合、増加の大部分は省内の小麦需要に起因している。他方、トウモロコシの需要増加による用水需要の増加は、小麦の場合に比較して小さい。内蒙古自治区、甘肅省、寧夏回族自治区では、流域外に送り出す小麦の増加に起因する用水増加量が、省内需要に起因する量を上回っている。トウモロコシの多くは家畜飼料用であるが、肉の種類で見ると、豚肉生産に起因する用水増加量が 700 万 m³で最大であった。このうち 30%分が流域内の他省への供給増によるものであった。

さらに、水供給制約下における流域経済成長の最大化を目標として水資源配分を設定する手法を開発し、シナリオに基づき検討した。そして、段階的な節水型都市化の推進と耕地削減あるいは節水灌漑導入による農業用水の転用により、経済成長に重きを置いた上で水利用の効率化を図ることが十分可能であることを示しえた。

2 研究構想及び実施体制

(1) 研究構想

1) 研究目標

黄河流域において、既存の水文・水理・水質・気象・土壌・地質・地形データ等を収集・蓄積し、流域の水循環と淡水供給、農業生産と土壌の浸食制御、土砂輸送、汚濁負荷と浄化に関わる機能を観測・分析・把握し、これらをモデル化し、将来予測の手法を開発する。同時に、乾燥地における節水灌漑技術を検討し、都市用水の節水および排水の再利用化技術とそのシステムを検討し、利水過程における水消費量を削減できるようにする。これらの結果を利用して、開発計画に対応した流域の水収支を算定・予測し、河川等水系を統合的に取り扱った水資源計画に従い、経済効果

等に配慮した持続性の高い水循環システムの新たなデザインの設定手法と例を提示することを目的とする。

2) 研究期間5年間の研究計画と進め方

研究計画の全体構成を図一1に示す。研究の流れは、水量と水質に関わる統合モデルを作成し、設定された評価基準に従い、黄河流域での水利用の効率化と持続性を高めようとするものである。

研究のフェーズを3分割し、平成13、14年度は「基礎の確立」(データ準備、観測準備、モデル構築、中国側との関係の確立等)、平成15、16、17年度は「研究の深化」(観測によるデータ蓄積、節水技術開発、モデル改善、水マネジメントシステム構築等)、平成18年度は「研究の統合化」(要素研究成果を基にしたシステム化、指標による判定、水循環システムの新たなデザイン手法の提案等)とした。

具体的な研究計画は以下のとおりである。

平成13年度: 黄河研究の体制を確立し、kick-offシンポジウムを開催すると共に、現地観測の準備や契約を終え、黄河流域の基礎データを収集し、実験やシミュレーション等を開始する。

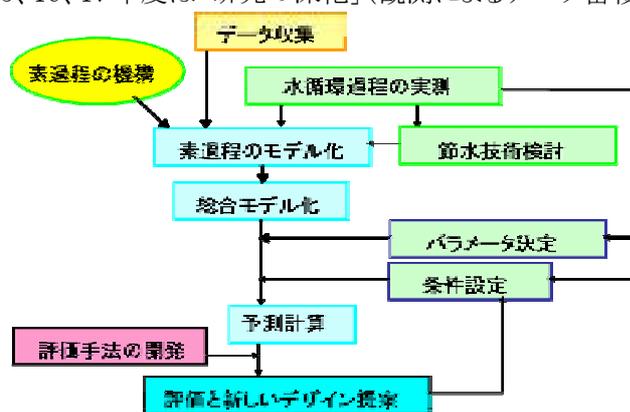
平成14年度: 既存データの収集整理を継続し、黄河流域の水収支をおおよそ把握できるように流出量推定用モデルを構築する。そして、水使用量を推定するために蒸発散量を含めて、灌漑農地で水収支と塩害の様相の調査手法を考案して調査を開始し、都市においても現地観測を実施する。さらに、流域水マネジメントのための統合モデルを構想する。

平成15年度: 既存データの収集を継続し、これをもとに流出量推定モデルにて過去の水循環の状況を再現し黄河の断流について検討する。そして、農地の水収支と塩害を回避するための方策について検討するとともに、都市においても、現地観測を継続し、流域特性を整理して水量水質統合モデルを構築する。さらに、流域水マネジメントのための経済成長予測のための地域開発モデルと社会変化要因を考慮した水資源需要将来予測モデルを作成して水需給ギャップを推定し、それにより政策を評価する。

平成16年度: 灌漑農地にて水分・熱・塩分動態を継続して調査し、塩害地と地下水流動の関係を明確にするとともに、灌漑管理実行評価モデルを開発し、水収支構造を詳細に示しうるようにする。都市においても引き続き現地観測を実施し、水量水質統合モデルを用いて、水供給制約下における効果的水資源配分手法を検討する。また、分布型水循環モデルを改良し水循環計算を精度良く行えるようにする。さらに、県市レベルで水資源の空間分布をモデル化することにより、黄河流域の地域別及び用途別(上・中・下流域、農業・工業・生活用水)の年単位の需給構造を把握し、経済成長シナリオに基づく水需給ギャップを評価し、政策を評価できるようにする。

平成17年度: 灌漑農地における水収支を精度よく推定できるようにし、灌漑水の有効利用率を明らかにする。また、都市流域において引き続き現地観測を実施し、原単位を求めめるために必要な時間データを取得するとともに、黄河流域の水量水質統合モデルの開発を開始する。さらに、分布型水循環モデルを一層改良し精度の向上を図る。加えて、県市を単位として、降雨量、蒸発散量を月別に推計するとともに、耕地面積、食料生産、工業生産、都市人口と住民の所得水準などのデータから農業用水、工業用水及び生活用水の需要量を推計し、各県市の月別の需給バランスを評価し、流域の社会経済発展についてシナリオを設定し、将来予想される水資源需給ギャップについて分析する。

平成18年度: 水使用量を精度良く推定するために乾燥農地と都市において現地観測を通年で実施する。また、水質を精度良く推定するために都市においても現地観測を継続実施する。そして、



図一1 研究構成

これらのデータをもとに水収支と物質収支のシミュレーションの精度を向上させる。さらに、これらの結果をもとに河川等の水量と水質を統合したモデルをもとに、社会状況を考慮した水量・水質・経済統合モデルを完成し、この統合モデルを用いて、持続性の高い水循環システムの新たなデザインの設定方法を提案する。また、最終のシンポジウムを国内で開催する。さらに、最終成果本を出版する。

3) 展開過程にて新たに設定した目標

A. 観測データのスケールアップと面的把握(技術的改善目標)

点としての蒸発散量の観測データを面としての水収支に変換できると、モデルの精度を高めることが可能になる。このためには、観測点を増加させることが考えられるが、労力がかかりすぎる。そこで、安定同位体の存在比率の変化を追跡することにし、河套灌漑区にて適用した。

B. 降水流出量の算定精度の向上(技術的改善目標)

日本国内で適用できる降水流出量の算定方法を使用すると、黄河流域では精度が不十分であったので、この手法を改良することにした。黄河流域での降水流出量の算定精度を向上させるためには、凍結の考慮、融雪時の流出、乾燥地域における流出算定法、ダム貯水量の推定が要である。凍結の考慮、融雪時の流出は、熱収支を同時に算定することにより解決を図った。また、乾燥地における流出量の算定に際し、ティーセン法では誤差が大きいので、内挿法を新たに工夫した。ダムの貯水量変化は未公開事項であり、担当部局に正式に資料を依頼したものの入手にいたらなかった。衛星データから水面の広さを算定し、標高データから水量を算定する手法も考えたが、精度上利用にいたらなかった。

C. 水収支の月変動の考慮(計画内容改善目標)

中国における水収支は通常年間値として1年間を対象にしたものである。しかしながら、水利用に季節変動があることを踏まえると、水収支は少なくとも月単位で表わされなければならない。このために、時間スケールを短くし月単位に変更した。

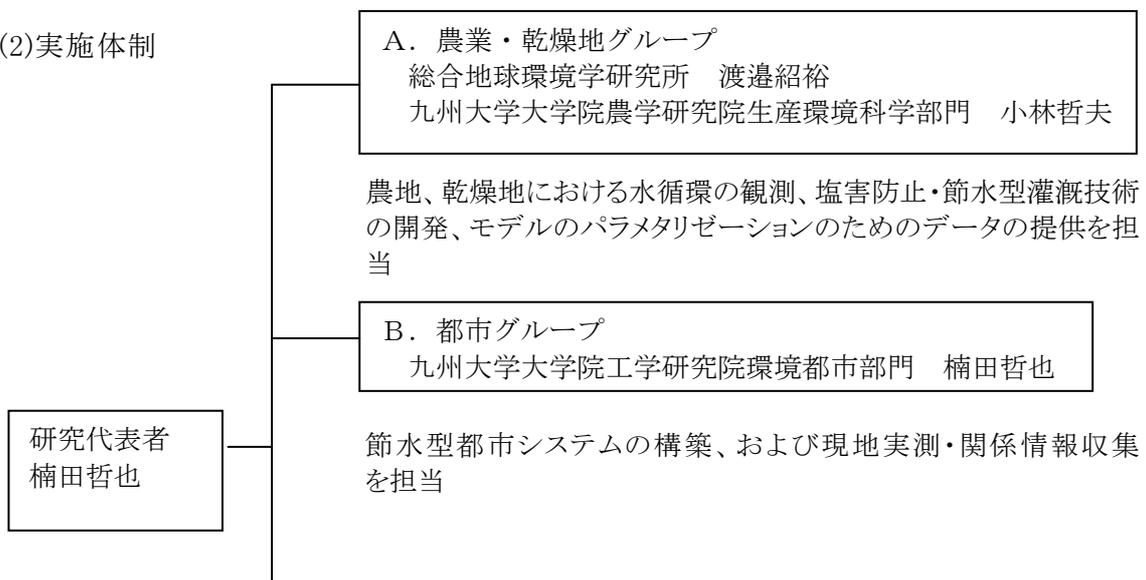
D. 水質の人体影響についての配慮(新規検討目標)

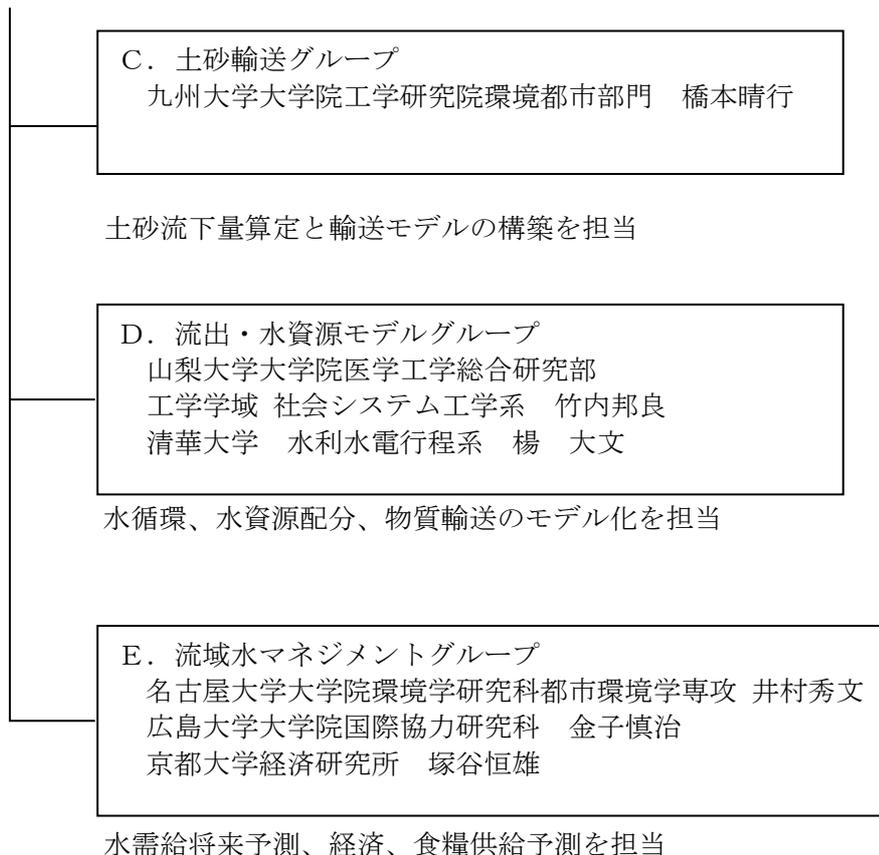
内蒙古自治区における調査対象灌漑区の飲料水が砒素に汚染されていることが判明したので、砒素中毒の専門家である医師に研究グループに参加してもらい、その中毒症状と人体影響について検討してもらう事とした。

E. 中国における研究者、国内研究者との連携強化(連携強化目標)

国内にても複数の黄河関連研究プロジェクトが実施されており、中国においても973プロジェクトとして黄河研究が実施されていたので、関連研究者が一同に会してシンポジウムを開催し、議論を深めることにした。4年次に北京で実施し、中国側の黄河研究の実態を深く理解することができた。

(2) 実施体制





3 研究実施内容及び成果

3.1 農業・乾燥地グループI(人間文化研究機構総合地球環境学研究所 渡辺紹裕教授グループ)

(1)研究実施内容及び成果

1) 研究の目標

- A. 寒冷乾燥地域の灌漑農地における水・熱・塩分のダイナミクスを現地観測に基づいて明確にし、現在の圃場水管理について役割・影響を評価し診断する。
- B. 灌漑地域における広域的な水管理と地域の水収支・塩分収支の関係を明らかにし、農地の作付け体系と水管理などとの黄河流域レベルの水循環・水収支の関係を明確にする。
- C. 圃場の水・塩分管理や黄河の水管理の改善に寄与する節水型水利用技術と塩分管理技術を提案し、それに伴う地域と流域の水収支の変化を予測する。
- D. 灌漑農地を含む広域的な土地利用管理・土壌保全を検討する基礎として、現地の「退耕還林」政策の内容と効果を調査分析し、乾燥農牧交錯地帯における土地生産性の回復と地下水の合理的利活用に向けた対策を検討する。

黄河流域の最大の灌漑区である内蒙古自治区の河套灌区を主要な調査対象地域として選んだ。また、上記の目標の D の対象地域として、黄河の支川流域で河套灌区近くのオルドス市達拉特旗の壕慶河流域を設定した。

2) 研究課題とねらい

上述の目標を達成するために、次のように、より具体的な研究課題をサブテーマとして設定し、主に担当するサブグループ(モジュール)を設けて、個別にねらいを達成すべく調査研究を進めた。

- A. 水収支と塩害に関する実態解明と改善(主要担当者:総合地球環境学研究所モジュール)
 - (a)河套灌区の水収支構造を定量的に把握する。
 - (b)圃場レベルから灌漑地区レベルに至る各レベルの灌漑システムや灌漑管理が、水収支に及ぼす影響を評価する。

- (c)排水不良農地における秋季湛水灌漑による除塩効果を明らかにする。
 - (d)土壌塩分が不均一分布となる原因について明らかにする。
 - (e)灌漑管理の現状を診断し、水資源の有効利用と灌漑農業における塩分管理の視点から、水管理の改善の方向・対策を検討する。
- B. 圃場レベルの水・塩分動態の解明(主要担当者:岡山大学モジュール)
- (a)乾燥地農業で、作物の生育に必要な灌漑水量に加えて供給される塩分管理のための除塩用水量の評価を含め、河套灌区の圃場における水・塩分動態を明らかにする。
 - (b)灌漑しない耕地と灌漑した耕地から塩害地への水分移動を分析する。
 - (c)とくに、灌漑耕地から隣接塩害地への横浸透量の計算、耕地および塩害地の水・塩収支要素を推定する。
- C. 圃場レベルの熱・水動態の解明(主要担当者:愛媛大学モジュール)
- (a)圃場レベルの微気象観測から、灌漑畑地の蒸発散量と耕作放棄裸地の蒸発量を明らかにする。
 - (b)作物ごとの作物係数(蒸発散比)を明らかにし、個葉の蒸散量・気孔コンダクタンス・光合成速度を測定し、作物ごとの蒸発散量などを比較する。
 - (c)群落抵抗や蒸発抵抗を気象条件と土壌水分にてパラメータ化し、バルク式(空力式)による蒸発散モデルを構築する。
 - (d)蒸発散モデルをSPACモデルに組み込み、同一気象条件下で各灌漑畑地と裸地からの蒸発散量を推定する。
 - (e)河套灌区における日蒸発散量マップを作成し、灌漑畑地と裸地の水収支を明らかにする。
- D. 小支川流域の水循環と農業の持続性の検討(主要担当者:岐阜大学モジュール)
- (a)オルドス市達拉特旗壕慶河流域において、河川水と地下水の利用実態を分析し、流域全体での合理的な用水利用の視点から、黄河引水量の減少の可能性を検討する。

3) 研究手法

調査研究は、上述のように研究課題(サブテーマ)ごとに進めながら、各個別課題の研究成果を統合することにした。

主要な調査研究対象地区として選定した河套灌区(Fig.3.1.1)は、黄河流域最大の灌漑地区で、灌漑面積は現在約55万ha、年取水量50億 m^3 と中国でも最大級の灌漑区である。黄河からの取水は、作物生育期に水位が低いために、頭首工で取水位を高くして取水している。地区の地表排水は全て烏梁素海へ機械排水される。他の黄河上流の灌漑地同様に、秋季の収穫後の農地に湛水灌漑を行い、土層内保水と塩分溶脱を図っている。この秋季湛水による土壌保水は、土壌の凍結・融解を利用した巧みな方法で、灌漑初期に流量が少ない黄河の水資源の不足を補っている。

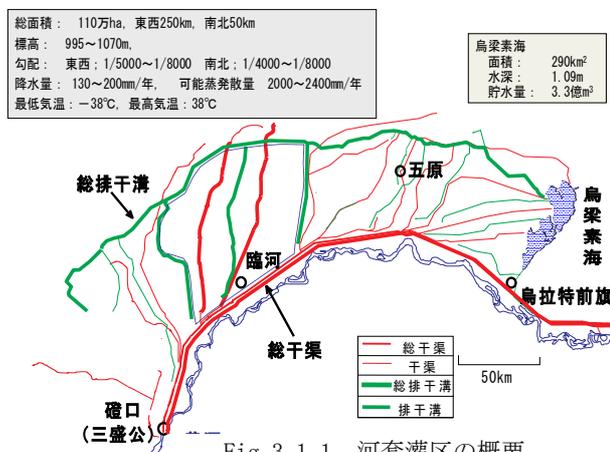


Fig. 3. 1. 1 河套灌区の概要

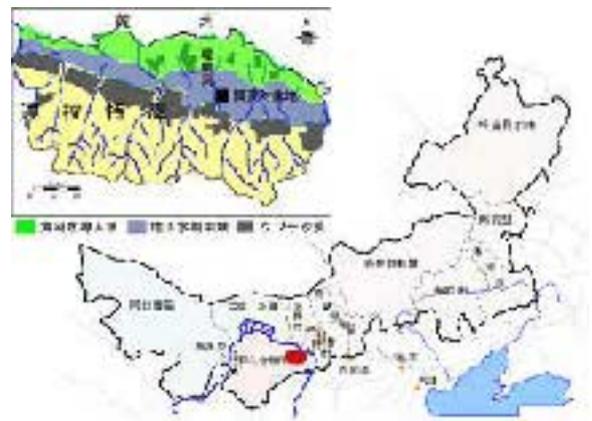


Fig. 3. 1. 2 達拉特旗の位置及び概況

この湛水による土壌水の再配分と塩分移動は、地区の灌漑管理と水収支に大きな影響を与えている。

なお、河套灌区の基礎的諸元は以下のとおりである。

- a. 総面積: 110 万 ha (東西約 250km, 南北約 50km)
- b. 標高: 995~1070m
- c. 勾配: 東西;1/5000~1/8000, 南北;1/4000~1/8000
- d. 降水量: 130~200mm/年
- e. 可能蒸発散量:2000~2400mm/年
- f. 気温変化: 最低気温:-38℃, 最高気温:38℃
- g. 排水先烏梁素海諸元:面積 290km², 平均水深:1.09m, 貯水量:3.3 億 m³

この河套灌区では、清朝の後期から解放前まで土地の大部分に2次的塩類化・アルカリ化が発生していた。その後、三盛公頭首工完成前の 1960 年代までに、土地の均等配分化や節水灌漑の採用などで、耕地面積は 19.3 万 ha から 40 万 ha に拡大した。一方、その時期に、軽度に塩アルカリ化した土壌は 33.3 万 ha に達し、中度塩・アルカリ化土は 5.3 万 ha に拡大した。しかし、塩・アルカリ化の程度は比較的軽いものであった。三盛公頭首工が完成した後、1961~1981 年頃は、黄河の水を大量に取水して灌漑するいわゆる「有灌無排」段階に入り、塩・アルカリ化土壌の面積および塩類化の程度も急速に進行した。耕地の中度および重度塩類化・アルカリ化面積は 10.7 万 ha にも拡大した。その後、1983 年以降になると、排水路の整備が進みだし、いわゆる「有灌有排」段階となった。支線レベル以上の排水路はほぼ整備されて、1981 年には烏梁素海から黄河への排水路も完成し、塩・アルカリ化の進行は緩和された。

4) 研究課題別の具体的な取り組み

研究サブテーマごとの具体的な取り組みを列記する。

A. 水収支と塩害に関する実態解明と改善

- ・地区の農地・灌漑面積や作付け体系、取排水量などの、水収支に関わる基礎資料を関係機関から収集整理する。
- ・水収支モデルを灌区に適用し、水収支を表現することを通じて、灌区の水収支構造を解明する。水収支表現には星川らによって開発された IMPAM(灌漑管理実効評価モデル)を用いる。モデルの開発・運用には、既往の研究成果や観測した蒸発散や地下水位変動、土壌水分移動の記録を活用した。
- ・上記のモデルによるシミュレーション期間は 1991-2000 年で、計算単位は 0.5 日、解像度 500m×500m とした。また、IMPAM の適用は河套灌区内の永濟灌域(約 50km×25km)とした。

B. 圃場レベルの水・塩分動態の解明

- ・河套灌区用排水路システムからサンプルを採水し陽イオン組成を分析する。
- ・河套灌区全域から代表地点を選定し土壌サンプルを採取し土壌中陽イオン組成を分析する。
- ・灌漑期間中、水収支方法および飽和-不飽和土壌浸透モデルによって圃場の水収支要素を推定する。また、塩分収支モデルを用いて、耕地および塩害地の塩分集積量を求める。

C. 圃場レベルの熱・水動態の解明

- ・圃場微気象観測によって蒸発散を測定し、作物ごとの作物係数(蒸発散比)を明らかにする。
- ・個葉の蒸散量・気孔コンダクタンス・光合成速度を測定する。
- ・蒸発散モデルを構築し、構築した蒸発散モデルを SPAC モデルに組み込み、同一気象条件下で各灌漑畑地と裸地からの蒸発散量を推定する。

D. 小支川流域の水循環と農業の持続性の検討

- ・定常観測域内に 16 点の地下水観測位置を設定し、週 1 回の頻度で地下水位と EC、pH の測定を継続する。(2002 年 9 月から、16 点中の 3 点は 2003 年 9 月から)。9 点においては自記地下水位計を設置し、1 時間置きの頻度で自記記録を行う(2002 年 9 月から)。
- ・全域の地下水調査と揚水試験、降雨量・蒸発散量を実測する。(2003 年 9 月には第 1 回目の

全域地下水調査を、2005年9月には第2回全域調査と揚水試験を、また2004年4月からは調査地内で降雨量及び蒸発量の12時間間隔の測定を開始した。2005年4月から黄河氾濫域に14点の地下水水位調査地点を設置して1ヶ月毎に測定した。）

・圃場1筆毎の圃場調査を行って農地の賦存状況を明確にし、農家の経済状況や灌漑用水の使用実態等に関する聞き取り調査を実施する。

5) 研究成果

サブテーマごとの研究成果を整理すると以下ようになる。

A. 水収支と塩害に関する実態解明と改善

- (a)黄河からの取水および降水によって灌区にもたらされる水の60%程度が土壌面から蒸発する。作物からの蒸散は20~30%に過ぎない。
- (b)土壌面蒸発のうちかなりの部分は幹線水路沿いの土地からのものである(Fig.3.1.3)。幹線水路(幹渠・分幹渠)からの漏水が地下水位に影響を与える空間的範囲は限定的である。地下水の水平方向流速がそれほど大きくない上、蒸発散位が高いため、幹線水路近傍で大部分が排水溝へ流出するか、蒸発するかのいずれかであるためである。
- (c)末端水路は灌区全域を覆っているため、大部分の地域における圃場レベル水収支においては、末端水路からの漏水の影響が大きい。
- (d)用水路からの漏水が土壌面から蒸発するため、灌区のほぼ全域において土壌表面の水分フラックス年間平均は正值(上向き)となっていると思われる。
- (e)総干溝(基幹排水路)に排出される排水の大部分は幹線水路沿いで生じており、圃場からの排水はほとんどないと思われる。近年排水が減少しているが、それは幹線水路のライニングが進行していることが影響しているかもしれない。
- (f)灌漑下流側に位置する排水不良地では、地下水の動きが極めて緩慢であり、根群域から洗脱された塩分は圃場外にほとんど排出されないことが確認されて。
- (g)灌漑により一時的に地下水の塩分濃度は低下するが、蒸発により再び塩分濃度は灌漑前の濃度まで上昇し、圃場内の地下水塩分濃度は基本的に低下しない。土壌塩分濃度の空間分布は1年間に500mm程度の灌漑を行っても、その分布パターンに大きな変化はない(Fig.3.1.4)。
- (h)150mmから200mm程度の秋季湛水灌漑は、一時的に土壌の塩分濃度を低下させるが、排水不良地は地下水流動が緩慢なため、再び夏季の蒸発により同じ位置で毛管上昇により集積する。
- (i)微地形標高が灌漑水の供給量を規定し、その結果除塩効果に差が生じ、不均一な塩分分布パターンが形成されたことが確認された(Fig.3.1.5)。
- (j)黄河流域最大の灌区である河套灌区では、塩害対策・排水改良が進んだこともあって、灌漑面積は継続して拡大してきた。近年の「節水体制」下でも、減少傾向には転じていない(Fig.3.1.6)。
- (k)穀物の栽培面積は近年漸減する傾向が見られる一方、油料作物の栽培面積は漸増している。
- (l)黄河からの取水量も継続して増大してきて、1990年代前半には年約55億 m^3 となり、その後1990年代後半に約50億 m^3 となり、2000年以降は45~48億 m^3 程度に抑制されている。これに伴って、地区からの地表排水量(烏梁素海への排水量)も約6.5億 m^3 から4.5億 m^3 程度に減少した。しかし、基本的な水収支の構造に決定的な変化が起こったとはいえない(Fig.3.1.7)。
- (m)河套灌区では、黄河から取水された用水は、送配水過程での浸透や蒸発などによる損失と、収穫後の土壌塩分の溶脱と土壌での冬季保水を目的とする「秋季湛水」のための用水量が、年総取水量のかかなりの割合に達している。

B. 圃場レベルの水・塩分動態の解明

- (a)灌漑水・地下水・排水路水と移動するにしたがって、Naイオンの割合が増大し、Caイオンの割合が減少することが明らかになった(Fig.3.1.8)。

(b) 土壤中を移動し、塩分として集積するのは Na イオンであり、Ca は非水溶性塩として土壤中に大

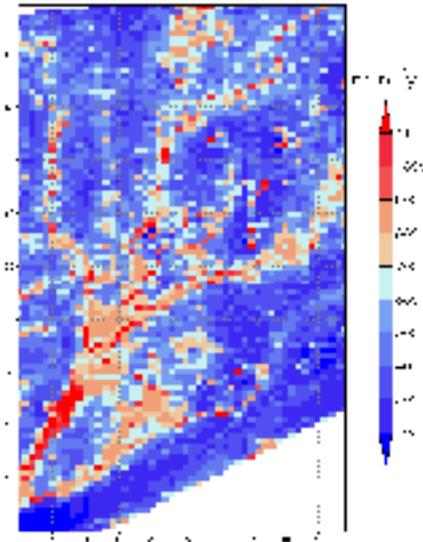


Fig. 3.1.3 シミュレーションによって得られた土壌面蒸発量 (1998 年)

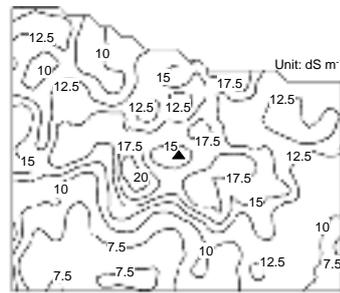


Fig. 3.1.4 土壌塩分分布 (28 Aug. 2003)

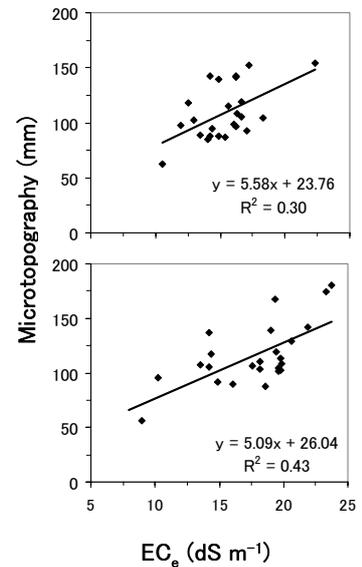


Fig. 3.1.5 土壌塩分分布と微地形標高の関係 (1 July 2004)

量に貯蔵されていることが明らかになった。

- (c) 以上の事実から、Na イオン濃度に基づく除塩用水量が合理的であると考え、それを提案・計算した (Fig.3.1.9)。
- (d) Na イオンに基づく除塩用水量は 0.12、従来の全塩濃度に基づく除塩用水量は 0.19 となった。現況の排・用水量比は 0.11 であり、Na イオンに基づく除塩用水量が灌区の塩分集積の現況をより現実的に表現する量であることが明らかになった。
- (e) 耕地の灌漑水量の一部は横浸透によって塩害地で消費されることが定量的に確認された。水分の横浸透とともに塩分の移動・集積することで、塩害地の塩分集積が速やかに進行することが

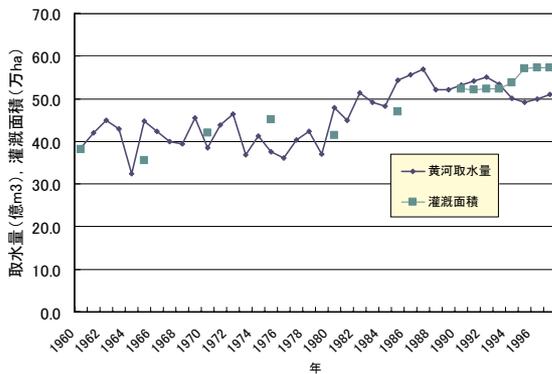


Fig. 3.1.6 河套灌区灌漑面積・取水量の変化
明らかになった (Fig.3.1.10).

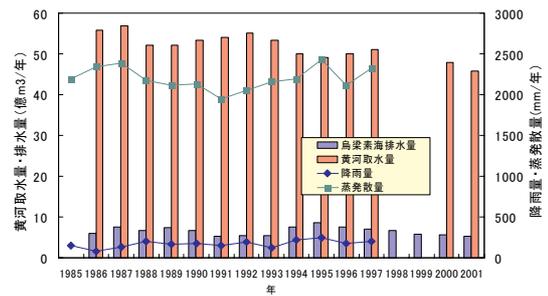


Fig. 3.1.7 河套灌区 水収支の変化

C. 圃場レベルの熱・水動態の解明

- (a) 個葉蒸散量はヒマワリが最大でトウモロコシが最小であった。モデルで計算した同一気象条件下の蒸発散量を比較すると、ヒマワリ畑が最大でトウモロコシ畑が最小であった。
- (b) 作物要水量を算定するための作物係数(蒸発散比)を整理した。
- (c) 少雨の気象条件下(2005 年)で測定されたコムギ畑の蒸発散量は、降水量と灌漑取水量の合

計を上回った。登熟期から収穫後のコムギ畑には灌漑されないが、周囲のトウモロコシとヒマワリは灌漑されるため、この時期のコムギ畑からの蒸発損失が無視できないことが明らかになった。(d)モデルで推定した同一気象条件下(2004年)における各圃場の水収支から、ヒマワリ畑の蒸発散量は降水量と灌漑取水量の合計を上回ることがわかった。また、耕作放棄された裸地からの蒸発が降水量を上回ることがわかった(Fig. 3.1.11)

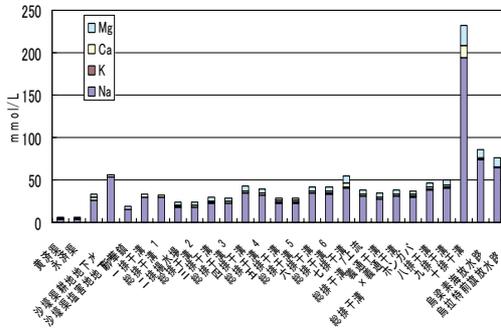


Fig. 3.1.8 用排水路の陽イオン組成変化 (2005年10月)

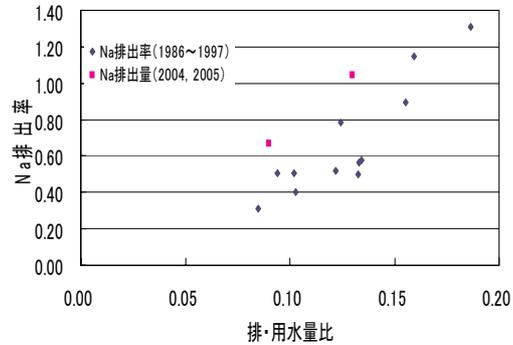


Fig. 3.1.9 Na 排出率と排・用水量比

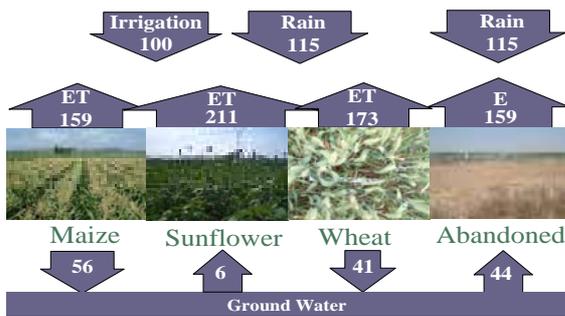


Fig. 11 河套灌区水収支構成 (July 9 - Sept. 15, 04)

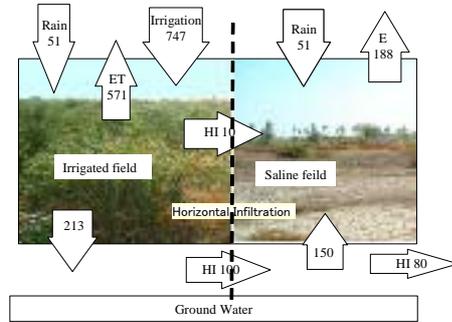


Fig. 3.1.10 水収支計算結果 (mm)

D. 小支川流域の水循環と農業の持続性の検討

(a)地下水関係

- a) 地下水位は、局所的に上昇する地点を交えつつも、全体としては現状維持からやや低下する傾向を示した (Fig. 3.1.12).
- b) ECはやや地下水量の減少に伴う塩分濃度の増加が伺われ、工場を含む矩形域で高ECであった(Fig. 3.1.12).
- c) 揚水試験の結果、地下水位の回復は極めて迅速であった(Fig. 3.1.9).
- d) 推定地下水量のピーク水量はほぼ同様であったが、2005年の灌漑期は同年の少雨により、地下水量の低下は顕著であった。
- f) 灌漑期の8月には上流部での地下水利用が激しく、地下水の接合部位が上流側へと移動することから、黄河水が灌漑水及び浸透水として補給され、黄河本川への負荷が発生している状況がうかがわれた。

(b)営農関係

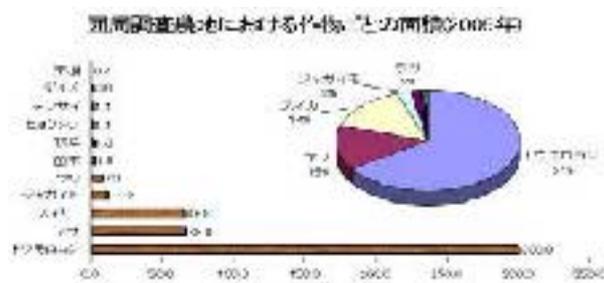


Fig.3.1.14 囲周調査農地における栽培作物概況

- a) 2005年の調査面積は460haで、面積中の全圃場数は143筆、灌漑に関わる井戸数は160点、一筆面積は平均2.9haで、その分布図から最多区分は2~3haで、4~5haであった。
- b) 本地域は飼料作物のトウモロコシに偏した栽培体系にあり、これは中国における肉類需要の増大、農業構造の戦略的調整に伴うトウモロコシ栽培基地化と国の環境保全対策に伴う禁牧休牧政策の強制等によるものである(Fig. 3.1.14).
- c) 農家経済状況に関するアンケート調査の結果、相当な経済格差が存在し、その主要因は使用農地面積によることが示された。しかし、家畜からの収入が農地面積の不足を補っている。

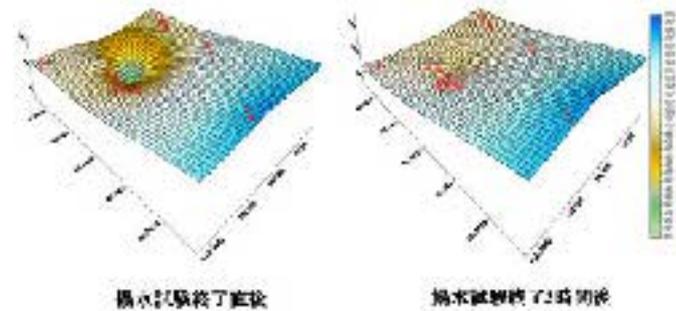


Fig.3.1.13 揚水試験終了後の地下水位回復状況

4) 考察・結論

A. 研究課題別の考察とまとめ

サブテーマごとの考察とまとめは以下のようである。

(a) 水収支と塩害に関する実態解明と改善

- a) 河套灌区の水収支構造が定量的に推定された。
- b) 今後は管理を変化させた場合に生じる水収支変化の予測等が行えるものと期待される。
- c) 灌漑区の下流部に点在する排水不良地では、地下水の動きが極めて緩慢であることと、夏季の強烈な蒸発要求のため、水平方向の比べ鉛直方向の塩分移動が卓越している。
- d) 灌漑によって一時的に低下した土壤塩分濃度は、地下水が地表面から1.0mあたりに存在するため、夏季の蒸発により再び表層に集積し塩分濃度が上昇する。
- e) 圃場の微地形標高が灌漑水の供給量を不均一にして、その結果として不均一な塩分分布パターンが発生する。

(b) 圃場レベルの水・塩分動態の解明

- a) 灌区全域において、Naが移動しCaが沈殿する塩分動態の実態が明らかになった。除塩用水量は0.12と見積もられ、現況の排・用水量比はこれをほぼ満足している。河套灌区農業の水管理の合理化と持続には、この値を維持することが必要である。
- b) 耕地および隣接塩害地の水分収支構成する要素を推定した。耕地の灌漑水量の一部は横浸透によって塩害地で消費されることが定量的に確認された。
- c) 灌漑期間中、耕地および塩害地のいずれも塩分集積状態になっている。灌漑耕地から塩害地への横浸透によって、塩害地の塩分集積が速やかに進行する。耕地では、この期間後の湛水灌漑によって、リーチングされるので、塩分の集積が実質的に生じないと考えられる。
- d) 耕地の0.07kg/m²の塩分集積量に対して、塩害地では0.4kg/m²で、耕地より約5.7倍多く集積している。塩害地の塩分集積が表層30cmに集中すると、現在の集積速度(0.1%)で2年後には軽度の塩害地(0.2%~0.4%)になると予測される。

(c) 圃場レベルの熱・水動態の解明

- a) 降水または灌漑水量を超過する蒸発散または蒸発量は、圃場に接する灌漑水路の水や、近接する畑に灌漑された水分が、水平方向の土壤中浸透や地下水を通じてコムギ畑へ供給されたと考えられた。

(d) 小支流流域の水循環と農業の持続性の検討

a) 地下水関係

- a. 2002年から2005年までの観測においては、急激な地下水位低下はみられなかったことから、通常の降水環境においては、安定した地下水位が得られると予想される。
- b. 2005年夏は少雨で干ばつの影響が灌漑用水量の増加に現れ、前年より大きく地下水位が低下した。さらに、9月以降の非灌漑期における地下水位回復状況の遅れに影響したことが考えられ、今後の注視が必要と思われる。
- c. 現在の営農状況が継続される限り、地下水資源への大きな影響は考えにくく、今後も持続可能な農業が行われると考えられる。
- f. しかし、今後はますます地下水利用における工業分野との競合が激化すると予想され、水の量と質の両面にわたる監視が必要となろう。
- g. 達拉特旗内の黄河十大支川流域の水資源は、オルドスの北流域の大部分を占めることから、今後黄河本川への水供給量を増加させるためには、節水農業を定着させ持続可能な営農を展開させることが重要となろう。

b) 営農関係

- a. 農家聞き取り調査の結果、極めてトウモロコシに偏った栽培体系であることが明らかとなった。これは禁牧休牧政策の強力な実施等に伴い生じた。
- b. 現在の調査地域と内蒙古自治区平均との農家1戸当たりの年間収入は、15,942元と8,159元となり、大差が生じた。これより、本地域の経済生活は比較的恵まれており、今後も適切で持続的な農牧併用体系を実施することにより、生活水準はさらに向上するものと考えられる。
- c. 灌漑用水の使用実態の観察から、一層の節約をする必要があると考えられる。具体的には灌漑時間の短縮及び単位灌漑水量の節減等を検討する必要がある。
 - ・灌漑期間中(6~9月)の1066haに対する単位用水量は2.6mm/dayと概算された。今後はこの水量を検討の基準として、さらなる持続的水利用の将来計画を検討する必要がある。

B. 節水灌漑および塩分管理に関する技術の開発と提案

黄河流域の水利用・管理の技術を開発し、持続可能性を向上させるために、現地関係者向けの提案を整理すると以下ようになる。

(a) 水収支と塩害に関する実態解明と改善

a) 農家向け

- a. 1回あたりの灌漑量を減らすことが望ましい。蒸発散位が高いため、灌漑用水の余剰分は根群域を通過浸透した後、速やかに再上昇して土壌表面より蒸発する。
- b. 圃場の区画を小さくして水管理を徹底させる。土壌表面を均し、灌漑水の供給を可能な限り均一にする。秋季湛水の前は十分土壌表面を乾燥させ、除塩効果を高くする。

b) 灌区・技術者向け

- a. 農家が1回あたりの灌漑量を減らし灌漑回数を増やすことができる輪番パターンを検討する。
- b. 灌漑用水が土壌表面から無効蒸発する割合は作物群落による被覆の少ない作付け初期において著しく高い。作付け初期において農地全面にではなく作付け部分にのみ灌水するような灌漑手法を開発すれば、大きな節水効果が期待できる。(畝の立て方や溝の切り方の工夫など、資材投入を要しない簡易な手法であることが望ましい。)
- c. 排水改良をすすめる。
- d. 灌漑排水施設の配置・構造等の基礎資料を整備する。
- e. 水収支構造から送配水中の損失の大きさを確認し、その原因と水量、浸透した水の挙動を把握するために調査する。
- f. 黄河からの取水量の減少に伴って、変化していると思われる地下水取水量を実態として把握するために、揚水機の分布・揚水量、地下水位分布、地下水質などに関する基礎情報を収集する。
- g. 進んでいる管理組織の民営化、すなわち用水戸協会による管理の拡大の実態を整理した上で、代表的な地域を選定し、管理の変化の実態を詳細に把握し送配水量を実測するなど、パイロット地区について分析・評価する。

c) 研究者・研究機関向け

- a. 本研究で開発した灌漑管理実効評価モデル IMPAM を活用するなどして、灌漑区各レベルの水収支構造を、管理の変更に伴う変化を含めて定量的に評価する必要がある。
- b. 河套灌区における水収支は土壌面蒸発によって平衡している。河套灌区の水収支をさらに精密に推定するためには、土壌面蒸発と涵養が平衡する地下水深を規定する土壌物理性の空間分布の精査が必要である。
- c. 河套灌区において、現在、また今後の水管理・水収支に関わる問題を検討する基礎として、地下水流動に関する精緻な分析が必要である。そのためのモデルの開発と、地形、地質・土壌、揚水量、地下水位分布などの必要な基礎資料の整備と、優秀な研究者への公開(情報交換)が必要である。
- d. 主要な大規模灌区灌漑区ごとに水(塩類)収支構造は大きく異なる。この差異は、地形・地質、作付け体系、施設構造、水管理体制、社会・政治的要因、などに起因する。
- e. 中国の農業・食料政策、水資源政策、環境保全政策との関わりで、黄河流域における灌漑農業の役割と、そこへの水資源の割り当てに関する、歴史的総合的な分析・評価を進めることが求められる。

(b) 圃場レベルの水・塩分動態の解明

a) 農家向け

- a. 除塩用水量を低下させるため排水路の維持管理が重要である。
- b. 隣接塩害地での水消費、塩分集積抑制のため、水密性畦畔管理を推奨する。

b) 灌区・技術者向け

- a. 除塩用水量を Na イオン濃度に基づいて算定し、これにより排水量を確保することを推奨する。

(c) 圃場レベルの熱・水動態の解明

a) 農家向け

- a. ヒマワリ畑は蒸発散量＝消費水量が多いので、節水のためには縮小する方向が望ましい。コムギの収穫は他の作物よりも1ヶ月以上早いので、収穫後(8-9月)の土壌面蒸発は用水損失につながる。そこでアルファルファを混播すると、放射エネルギー・水の有効化が期待できる。これに対してトウモロコシの混播は、放射エネルギー利用の面ではあまり有効ではないと思われる。(灌区・技術者にも)

b) 灌区・技術者向け

- a. 用水量を節減させるためには、用水計画に作物ごとの要水量を組み込むという改良が考えられる。しかし、灌漑された水の一部は、地下水を通じて水平方向へも移動する。そのため現状の数 10m 四方区画ごとに栽培種が異なるパッチワーク状の栽培体系には、上記の改良は効果がない。数 km 四方のスケールで栽培作物を統一して、上記の用水計画を適用することで、節水効果が期待できる。
- b. 灌漑計画に従い、たとえばトウモロコシ畑が灌漑される一方でそれに隣接するコムギ畑が灌漑されない時期がある。現状では、コムギ栽培農家も、灌漑が計画されていないものの、水価を支払って灌漑する光景が見られる。これは生育を促進させるためと塩類集積を防ぐ意図によると考えられる。これは供給主導型の灌漑計画で可能となっている。上記の土地利用体系の導入により、このような計画外の灌漑水の送水を再検討することができる。
- c. 灌漑畑地に囲まれて存在する耕作放棄裸地では、地下水を通じて灌漑水が無効に蒸発損失している。この裸地を耕作地に回復させる努力により、灌漑用水を有効に利用できることが期待される。
- d. これに対して、塩害で耕作放棄された裸地が大きく広がる地域にわずかの耕作地が存在する場合には、この耕作地のための灌漑用水は周囲の耕作放棄地で無効に蒸発する。このような耕作地をあえて放棄することで、河套灌区全体の用水の有効化が期待できる。

c) 研究者・研究機関向け

- a. 作付け体系や土地利用のシフト、区画整理や土壌改良により、それぞれ灌区全体でどれだけの灌漑用水が節減できるかを定量化する。

b. 灌漑畑地に隣接する灌漑水路からの漏水は、土壤中を水平方向に浸透し、または地下水を涵養することにより、一部は作物の生育で有効利用されていると考えられる。しかしその多くは、裸地や収穫後のコムギ畑を中心に無効に蒸発散で消費されている。今後、末端水路からの漏水が作物によってどれだけ有効に利用されているかを定量化し、用水量計画をこまめに見直す必要がある。

(d) 小支川流域の水循環と農業の持続性の検討

a) 農家向け

- a. 農家は、地下水は無限に存在するという意識を改めて、節水に努力するよう推奨する。それが、結局は自らの利益になることを知らしめる必要がある。
- b. 下流ほど、地下水の EC と pH が上昇し塩類化の程度が高まるので、農家各戸において持続的で節度ある使用を心がけるよう奨励する。

b) 灌区・技術者向け

- a. 不規則な区画形状の微少な修正でも、農業生産性及び灌漑用水利用効率の向上に資することを理解することが必要である。また、搬送効率を向上させるために、土水路での直接流下から可搬式ホースやあるいはより耐久性の資材の普及に心がける。
- d. 調査地で、製薬工場を上流側とする矩形の高 EC 域が存在することから、継続的に監視を行う必要がある。

c) 研究者・研究機関向け

- a. 灌漑期のポンプ揚水に伴う地下水位の低下と、非灌漑期における地下水位の回復挙動を理解し、広域でのシステマ的揚水法の提案を行う必要がある。また、農業外産業による無秩序な地下水利用による量と質への悪影響に警鐘を鳴らし、地域環境の保全に貢献する責務がある。
- b. 調査域より下流側への汚染水の流下を抑止するため、簡易なアイデアを検討することが望まれる。

3.2 農業・乾燥地グループ II (九州大学大学院農学研究院 小林哲夫助教授グループ)

(1) 研究実施内容及び成果

1) 研究の目標

節水・塩類化防止型灌漑技術の開発と圃場の水収支モデルの構築を目的とした。

2) 研究課題とねらい

半乾燥地において実験圃場を整備し、現地観測にて水収支を把握し、そのデータをもとに、節水・塩類化防止型灌漑技術を開発し、さらに、圃場の水収支モデルを構築して節水灌漑技術を評価する。

3) 研究手法

黄河流域の托克托県(内モン自治区)に実験圃場を設け、2003 年春から 2006 年春にかけて、灌漑実験を実施した。実験圃場では、托克托県の灌漑総面積の約 60%を占めるトウモロコシを、周辺圃場と同様に、黄河から引水して水盤灌漑により栽培した。

A. まず、TDR による圃場の土壌水分や土壌塩度の測定法、圃場における蒸散速度推定法、および飽和土抽出溶液伝導率 (EC_{SAT}) の定義などに関する基礎的事項を検討した。

B. 同時に、実験圃場におけるトウモロコシの生長調査と実験圃場が位置する

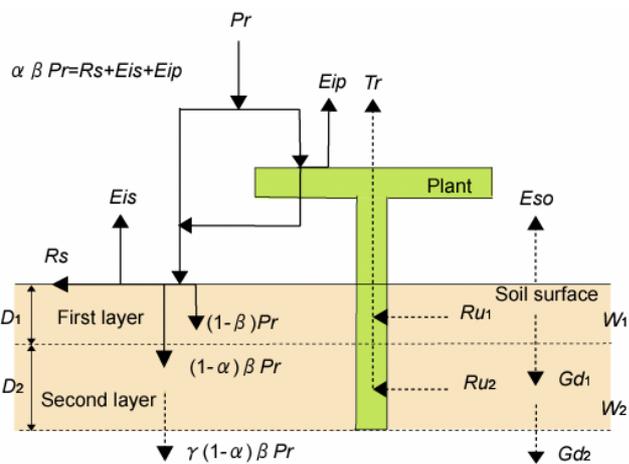


Fig. 3.2.1BBH-B モデルの模式図

オアシスの熱環境の解析を、基礎資料を得るために実施した。

C. 降水遮断(Mori *et al.*, 2006)、蒸発散、および毛管上昇などの水収支項に関する検討を、同じ2004年の観測データを用いて実施した。

D. トウモロコシ畑に適用可能な水収支モデル(2層BBHモデル)を構築し、本モデルに基づいてdynamic field capacity(動的圃場容水量)を定義し(Iwanaga *et al.*, 2005)、実験トウモロコシ畑の灌漑水量評価に適用した。また、BBHモデルに、降雨遮断やマクロポア流れなどの生物プロセスを組み込み、BBH-Bモデルを構築した。

4) 研究成果

A. 構築した水収支モデルを用いて算定した結果と実際の灌漑水量と比較した結果、過剰灌漑がかなり行われていたことを明らかにした。

B. BBH-Bモデルは、圃場の水収支を総合的に表現するモデルであり、いまだ開発途上にあるが、植物と土壌の水関係の解明や灌漑スケジューリングに有効であることが期待される。

C. 本地域では、収穫後の晩秋に、大量の水が灌漑され、秋灌漑と呼ばれる。また、2004年の秋から2005年の春までの観測結果を用いて、圃場ベースでの秋灌漑の水利用効率を評価した。その結果、晩秋に灌漑された230mmを超える水のうち、約100mmだけがトウモロコシ栽培に利用されたことが明らかになった。したがって、圃場ベースでの秋灌漑の水利用効率は43%より小さかったことになる。

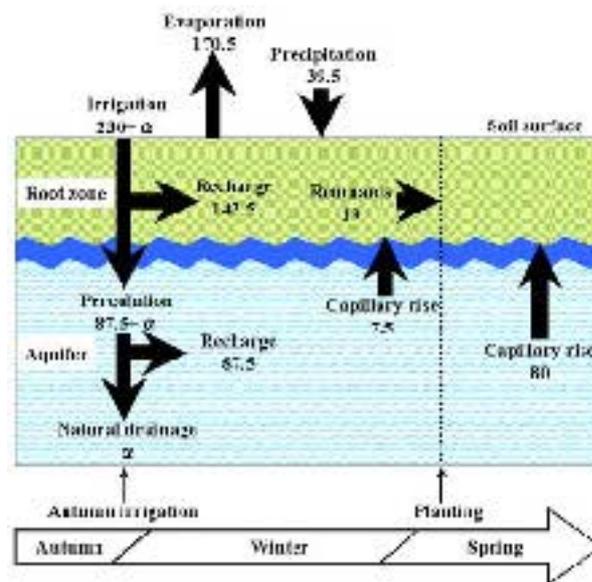


Fig.3.2.2 秋灌漑水の根域—帯水層系内の流れに関する模式図

D. 実験圃場内で、TDRを用いて EC_{SAT} の連続測定を行った結果、土壌内での塩類移動は極めて複雑な形で行われていることが明らかになった。圃場内における地下水の塩分濃度(EC_{GW})は場所によって大きく変動し、それをもたらす機構は、塩類化プロットを作り出す機構と密接に関係している。なぜなら、塩類化プロットは塩分濃度の高い地下水層の上に形成されるからである。一方、 EC_{GW} は粗粒土からなる断面より細粒土からなる断面内で高いので、塩類化プロットは細粒土からなる土性断面を持つ場所に形成されやすいと推測される。

E. 植物の根は土壌溶液中のイオンを選択的に吸収するので、水が灌漑水路から土壌をとおり、根を通過して植物地上部まで移動する間に、各イオン濃度は変化する。 Na^+ はトウモロコシによってほとんど吸収されないため、地下水や土壌中に残留して蓄積し、ソーダ質土壌形成に加担する。したがって、トウモロコシ栽培が持続可能であるためには、土壌のリーチングだけでなく、土壌改良剤による Na^+ の Ca^{2+} などによる置換が必要になる。

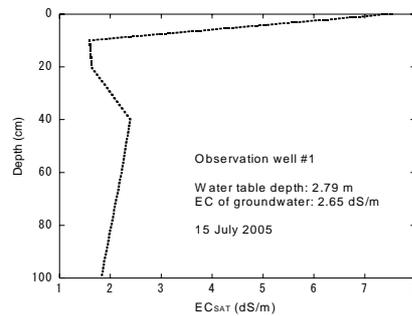


図 3.2.3 P1 における EC_{SAT} の断面分布 (2005 年 7 月 15 日)。

以上の研究から、次のような結論が導かれた。

(a) 節水灌漑技術の開発

灌漑水は圃場容水量 (中国語では田間最大持水量) までの欠損量を補充する量に加えらる。しかし、一般に過大に評価され、過大灌漑が行われることが多い。そこで、新たに定義した動的圃場容水量を用いることにより灌漑水の節約に寄与することが実験的に確認された。

秋灌漑の水利用効率は、圃場ベースで 43% 以下と評価された。凍土からの蒸発量は乾燥土からの蒸発量と比べて大きいので、秋灌漑水量の約半分が蒸発によって失われる。したがって、冬季の土壤面を乾燥状態に維持できる技術の開発が望まれる。

(b) 塩類化防止型灌漑技術の開発

塩類化プロットは塩分濃度の高い地下水層の上に形成される。したがって、過剰灌漑による地下水位上昇を抑え、塩類化プロット内で地下排水を行うことにより、塩類化圃場の拡大防止が可能になる。塩類化プロット内で高塩分地下水を汲み上げ、周辺地域の低塩分地下水をプロット内に流入させることが有効と思われる。

(c) 圃場の水収支モデルの構築

有効降雨量の評価、土壤面蒸発量、作物蒸散量、浸透損失・毛管上昇量と根域の土壤水分量との関係を明らかにするために、圃場の土壤水分の変化を表現する 2 層 BBH モデルと生物過程を組み込んで圃場の水収支を総合的に表現する BBH-B モデルを構築した。2 層 BBH モデルは、灌漑水量の決定に有効であることが実証された。一方、BBH-B モデルは、いまだ開発途上にあるが、本モデルを実験トウモロコシ畑に適用することにより、同圃場内でも場所により蒸発散量が大きく変化すること、また根の主要吸水土層が植物の生長とともに次第に深くなることなどが示された。

(2) 研究成果の今後期待される効果

現地圃場にて、秋季灌漑方式を再検討する機会を与えたことは、この地区での水消費量を大きく削減することになると想定される。さらに、圃場の土壤水分の変化と生物過程を組み込んだ BBH-B モデルを完成させることにより、圃場の水分収支を精度よく明確に出来るようになるので、本分野の進展に大きく寄与できる。

3.3 都市 (九州大学大学院工学研究院 楠田哲也教授グループ)

渭河流域の検討

(1) 研究実施内容及び成果

1) 研究目標

黄河の支流である渭河では、西部大開発の進展に伴い、近年都市部を中心に発展が著しい。しかし、供給水量不足を補う地下水利用に伴う地盤沈下、水処理施設等の不足による水質汚染の深刻化が、今後の経済発展の足枷となる可能性が非常に高い。こうした問題を解決することが、渭河流域を含む黄河流域全体、さらには中国全体の持続可能な発展を確保するために非常に重要である。これより、本研究では、渭河流域を対象に水量水質統合モデルを構築し、セクター別水利

用形態及び汚濁物質負荷過程を把握した上で、流域の水質汚濁状況を解明する。次に節水、及び処理水の再利用等による水資源開発を念頭におき、将来の有効な水資源配分手法を提示すべく、水供給制約下における流域社会シナリオを策定し、各シナリオの評価手法を開発する。

2) 研究手法

A. 現地調査

Fig.3.3.1 に渭河流域の水質観測地点を示す。渭河河口付近から中流域までの約500kmの区間にある13地点において2002年10月から2006年5月にかけて、計15回の流量及び水質観測を実施した。Fig.3.3.2 に重金属類の濃度分布を示す(Zn, Cr)。図はサンプル水のSSに付着した重金属類も溶解して分析した結果(図中a)、及び、溶解せずに分析した結果(図中b)をそれぞれ示している。図より、前者の結果は後者に比し、非常に高い濃度を示している。これより非常に多くの重金属類がSSに付着していることが分かる。

次に Fig.3.3.3 に BOD₅ 及び窒素濃度の地点別、時期別の観測結果を示す。図より都市周辺において BOD₅ 及びアンモニア態窒素濃度が高いことがわかる。

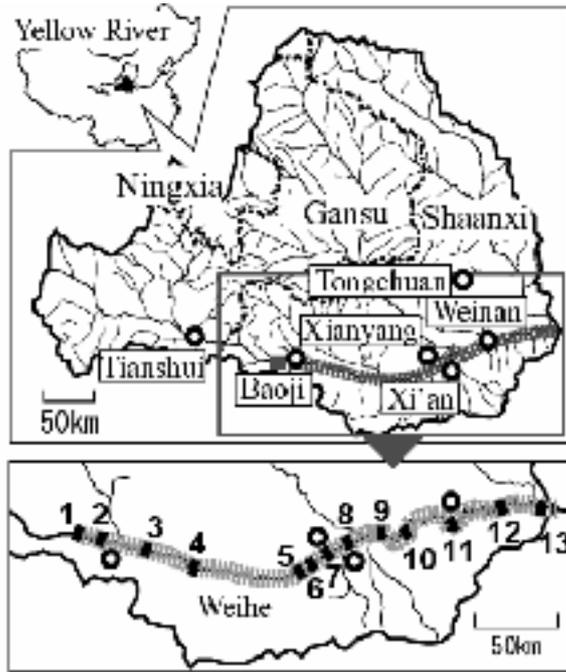


Fig.3.3.1 渭河流域位置図(上)と現地水質観測地点(下)

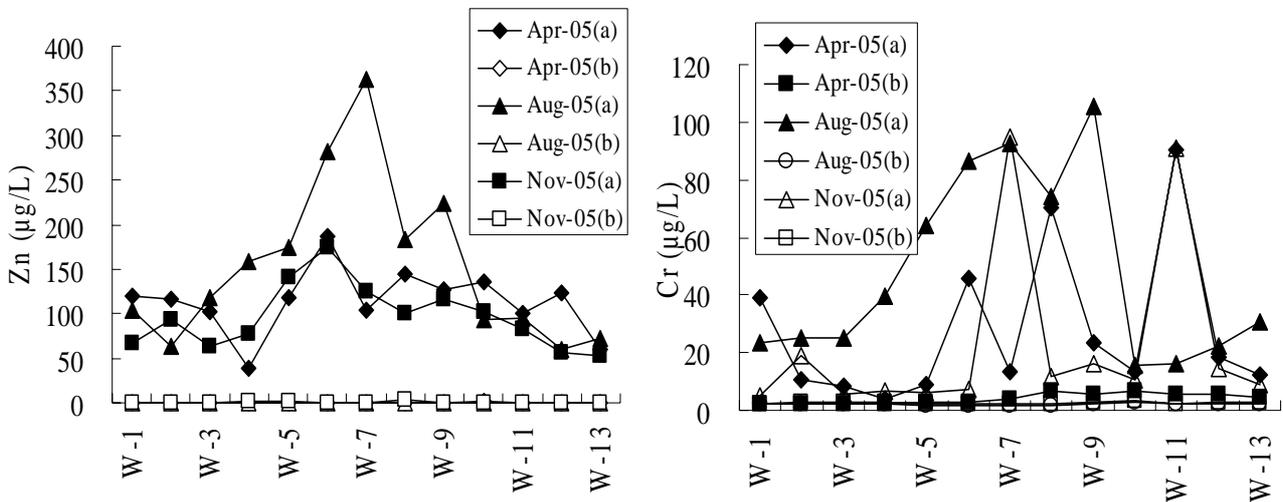


Fig.3.3.2 重金属濃度(Zn:左と Cr:右)

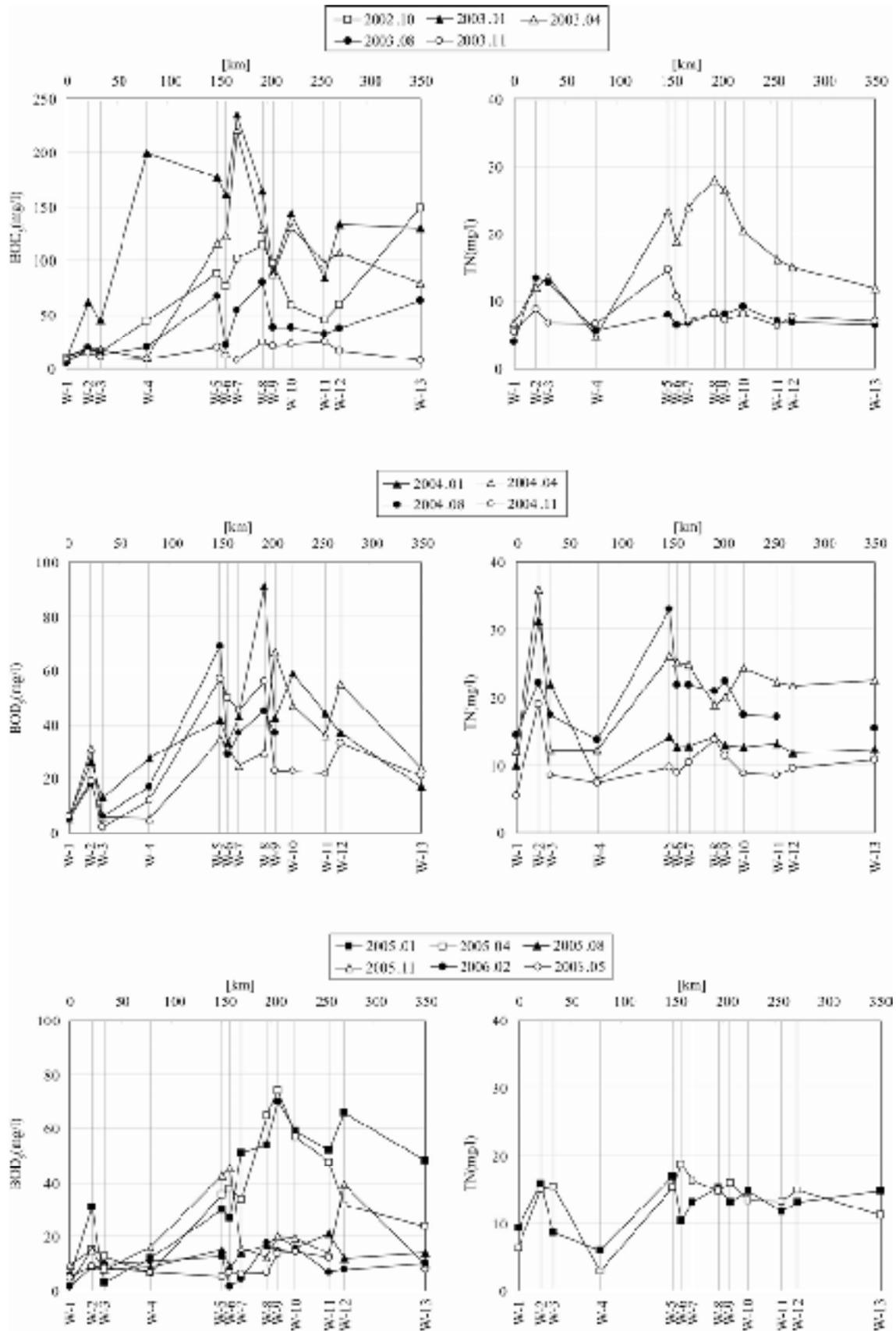


Fig.3.3.3 現地水質観測結果(BOD₅, TN(mg/l))

2) 水量水質統合モデルの開発

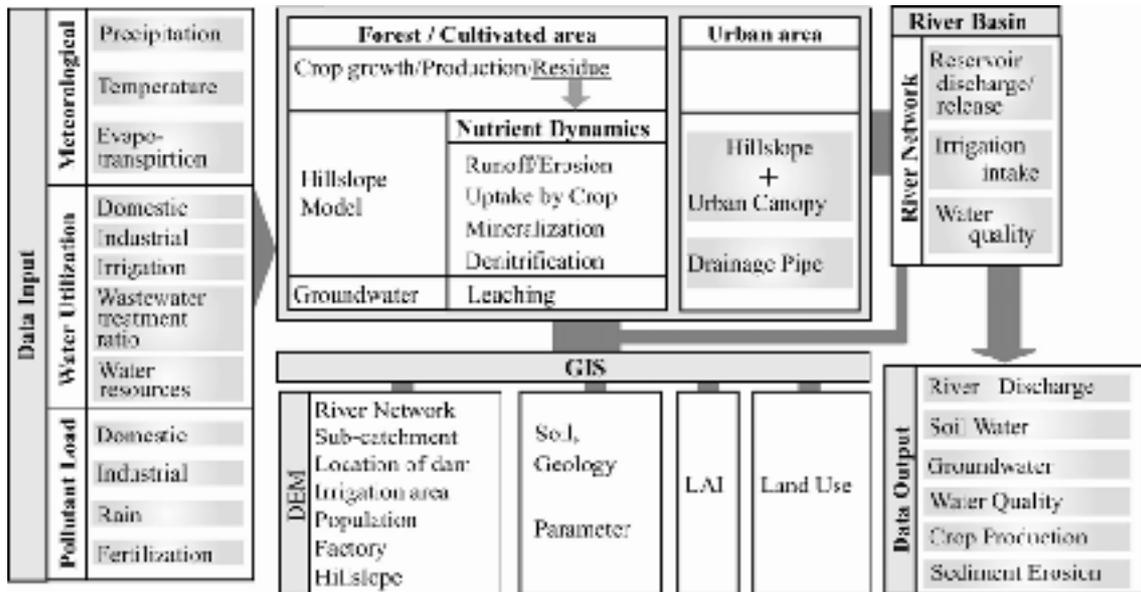


Fig.3.3.4 水量水質統合モデルの概念

A) モデル概要

Fig.3.3.4 に水量水質統合モデルの概念を示す。モデル構成を以下に述べる。自然状態における流出解析計算には GBHM2 を用いる。GBHM2 では、解析上の理由から渭河流域を地形データに基づき Pfafstetter basin numbering scheme により小流域に分割している。さらに流域界は 2.5km×2.5km の grid の集合として構成され、この grid が解析の計算単位となっている。分割された河川や流域にはナンバリングがなされ、最上流部の grid から下流に向かって順次計算を進め、土壌質、植生被覆、土地利用等の情報に基づき grid 毎に水の流れを計算し、流域全体の水収支を把握する仕組みになっている。本研究では GBHM2 にダム、灌漑、生活用水及び工業排水といった人工的因子を導入し、より精度の高い流出解析を可能とした。具体的には、各種統計資料、現地調査結果、衛星画像、及び GIS による解析結果に加え、人口分布や工場分布、灌漑区分布等、人為的因子が水循環に与える影響をモデルに組み込んだ。これにより地下水位低下状況の把握を可能とした。なお、人工系水循環の計算単位も同じ grid としている。また、点源、及び面源負荷を考慮して流域での汚濁物質負荷過程を表現している。都市域での生活及び工業排水由来の点源負荷算定は原単位法によった。また耕地等からの SS や窒素等の面源負荷量の算定は、人工系水循環を含む GBHM2 と EPIC を結合し SWIM に組み込む手法によった。上記から得られた河川流量及び汚濁物質負荷算定モデルと一次元移流分散方程式に基づく水質モデルを結合し、SS, BOD, DO, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ を対象とし、河川水質解析を実施した。

B) 解析結果

a. 土砂流出解析結果

Fig.3.3.5 に SS の面源負荷量分布を示す。本解析結果による流域内の年間土砂発生量は 4.4 億 t であり、これは既存資料の値(3.7-5.6 億 t/年)とほぼ一致し、発生分布の相似性も確認された。

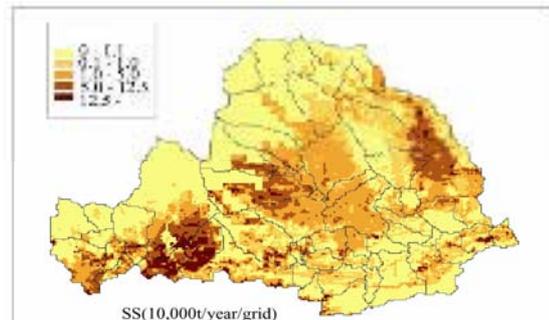


Fig.3.3.5 SS 流出分布

b. 流量解析結果

Fig.3.3.6 に河川流量解析結果を示す。図より計算値は流量ピーク値を比較的良好に再現していることがわかる。

c. 水質解析結果

Fig.3.3.7 に流下に伴うBOD₅とSSの挙動を示す。図より解析値と観測値は、ほぼ同様の傾向を示す。また、Fig.3.3.8 に観測地点3(農村部)と9(都市部)におけるBOD₅とSSの経時変化を示す。これも流下距離と同様、解析値と観測値がほぼ一致しており、モデルの妥当性が確認された。

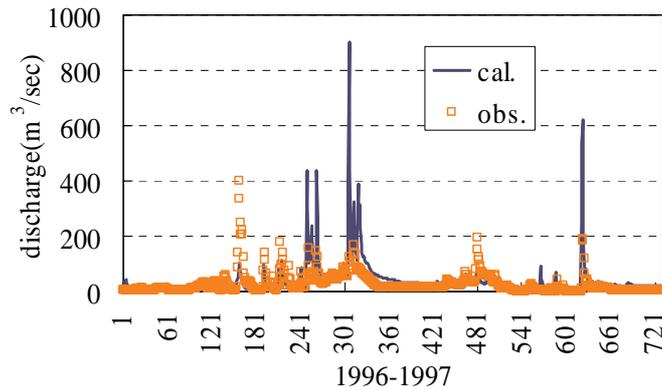


Fig.3.3.6 河川流量解析結果 (Xianyang)

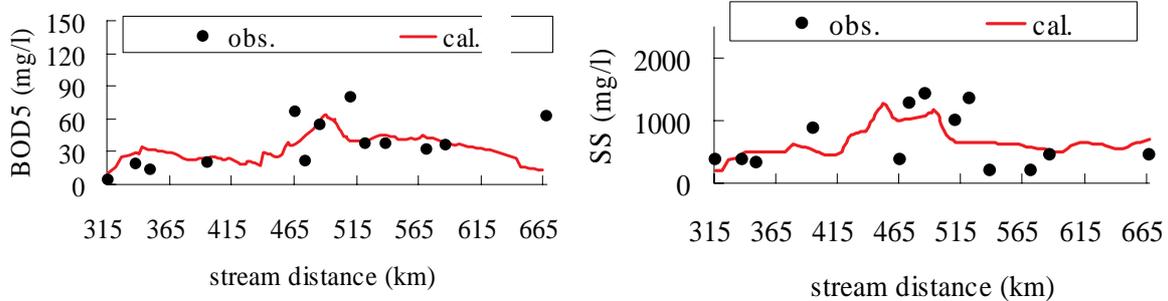


Fig.3.3.7 BOD₅ 及び SS の流下距離に伴う変化(Aug.15-2003)

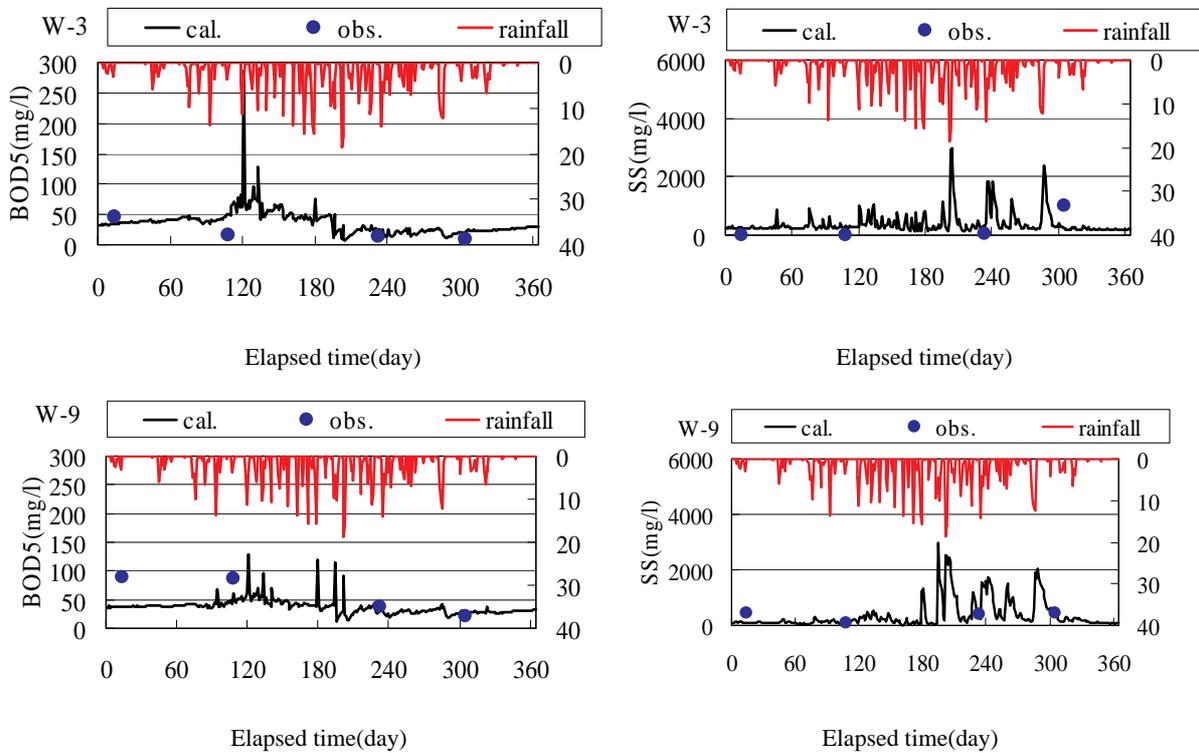


Fig.3.3.8 BOD₅ 及び SS の時間に伴う挙動変化(2003)

3) 水供給制約下での効果的水資源配分シナリオの策定

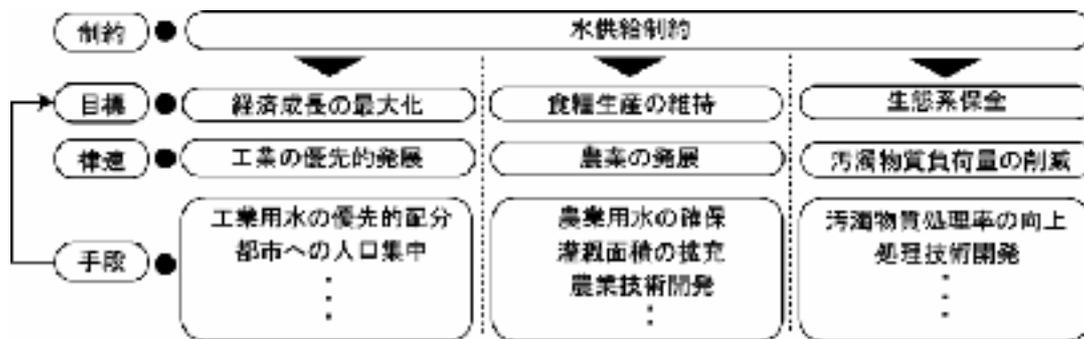


Fig.3.3.9 渭河流域における水資源配分シナリオ策定フロー

Fig.3.3.9 に渭河流域における水資源配分シナリオ策定フローを示す。まず、流域全体の目標を定める前に、“水不足”を主要制約条件とする。これを踏まえて、経済成長の最大化、食糧生産の維持等の目標を設定する。次に目標を達成するための制約となりうるものを各目標に対して設定し、これを実現する手段としていくつかのメニューを準備する。さらに各手段を組み合わせることで、目標の実現が可能か否かにかかる検証を実施し、最終的に各シナリオを評価する。

A) 水資源供給制約下における水資源配分シナリオ設定

Fig.3.3.10 にシナリオの評価フローを示す。図は目標達成手段を数パターンずつ組み合わせることでシナリオを構築する様を描いている。以下に個々の具体的な手段に関する設定手法を述べる。また、Table3.3.1 にシナリオ評価一覧を示す。



Fig.3.3.10 シナリオ評価フロー

① 水供給制約

・本シナリオでは最初のもっとも大きな条件として、水供給制約を掲げている。これは、今後いつさの新規用水量の増加を認めないものである。人口増加、工業生産増加等による水資源の確保は他セクターからの転用、または節水及び処理水の再利用等でまかなうものとする。（現状の新規

用水量:約 70 億 t. これを超える分はすべて再生利用等でまかなう)

② 社会形態

・本シナリオでは、流域が短期(2010 年), 中期(2030 年), 長期(2040 年)にかけて都市化する場合と、農村工業化(非都市化)を維持し続ける場合の 2 パターンに区別する。

③ 食糧関連

- ・ 食糧減産:耕地削減率を 2010 年に 10%, 2030 年に 20%, 2050 年に 30%として設定.
- ・ 食糧生産維持:耕地面積を 2010 年から 2050 年にかけて一定に保つ.
- ・ 食糧増産:耕地面積の拡大は困難であるが、灌漑比率を高めることで食糧の増産を図る. 灌漑比率を 2010 年に 80%, 2030 年に 90%, 2050 年に 100%として設定.
- ・ 食糧自給率:
 - 食糧減産の場合:耕地面積減少に比例して減少
 - 食糧生産一定とし、流域人口増加によって減少
 - 灌漑地と非灌漑地の 1 ムー当たりの生産量の差を 250kg と設定し自給率を算定(JICA 資料より)

④ 人口分布

- ・ 流域人口の増加予測は既存資料に倣った.
- ・ 食糧減産の場合の余剰労働力発生量は次式で表される.

$$YL_1 = \Delta P_a + \alpha \cdot CA_d \quad \dots(1)$$

ここに、 YL_1 :余剰労働力、 ΔP_a :農業人口増分、 α :耕地面積当たり農業人口、 CA_d :耕地削減面積.

- ・ 食糧一定、及び食糧増産の場合の余剰労働力は、農業人口の自然増分である. 現時点の余剰労働力の評価が困難であるため、今後の農業人口増加分は全て余剰労働力とみなす. また、二重経済学的観点から、余剰労働力の移動速度が人口増加速度を上回ることが発展条件の一つであることも、農業人口増加分をすべて余剰労働力とみなす根拠である.
- ・ 食糧減産の場合、耕地は全て郷村からカットされると仮定した. また都市化の場合、郷村の余剰労働力は全て大都市に移動するとし、非都市化の場合は、小城鎮に分散するとした.

⑤ 節水関連

- ・ 灌漑効率向上:2010 年で 50%, 2030 年で 60%, 2050 年で 70%とした(現状 40%)
- ・ 城鎮生活排水処理率:2010 年で 50%, 2030 年で 70%, 2050 年で 80%とした(現状 20%)
- ・ 大都市中水道導入率:2010 年で 20%, 2030 年で 40%, 2050 年で 60%とした(現状 0%)
- ・ 工業排水処理率:2010 年で 50%, 2030 年で 70%, 2050 年で 90%とした(現状 20%)
- ・ 工業再生水利用率:2010 年で 60%, 2030 年で 70%, 2050 年で 80%とした(現状 50%)

⑥ 水資源獲得量

- ・ 耕地削減, 節水灌漑, 排水処理率向上, 再生水利用率向上によって獲得した水資源量.

⑦ 水資源獲得費用

- ・ 中国環境年鑑より, 陝西省工業排水処理投資(設備投資等):4.46 元/t(初期投資), 0.43 元/t(維持管理). また, 同資料より, 生活用水排水処理投資:4.2 元/t(初期投資), 0.46 元/t(維持管理).
- ・ 節水灌漑投資:甘肅省の事業例より, 8 万 ha で 7.92 億元. 1.5 億 t の節水.
- ・ 灌漑規模拡張投資:1.9 万元/ha(JICA 資料より)

Table 3.1.1. 大規模建設プロジェクトによる水供給配分シナリオの建設と評価

地区	水供給配分シナリオ(平均)				人口(単位:千人)				輸送距離(平均)				輸送距離(平均)				2030年時の配分(単位:1000m ³ /日)				シナリオ詳細 01-023	
	2010		2030		2010		2030		2010		2030		2010		2030		2010		2030			
	建設費 (百万円)	削減率 (%)	建設費 (百万円)	削減率 (%)	都市	農村	都市	農村	都市	農村	都市	農村	都市	農村	都市	農村	都市	農村	都市	農村		
東京	都心部	51	-	0.0	0.0	1,004	491	1,004	491	-	-	6.1	11.3	16.2	-	-	33.0	33.0	14.8	14.8	水	
		52	-	0.0	0.0	1,004	491	1,004	491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	水
	近郊部	53	-	0.0	0.0	1,004	491	1,004	491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	水
		54	-	0.0	0.0	1,004	491	1,004	491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	水
	圏外	55	-	0.0	0.0	1,004	491	1,004	491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	水
		56	-	0.0	0.0	1,004	491	1,004	491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	水
	圏外	57	-	0.0	0.0	1,004	491	1,004	491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	水
		58	-	0.0	0.0	1,004	491	1,004	491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	水
	圏外	59	-	0.0	0.0	1,004	491	1,004	491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	水
		60	-	0.0	0.0	1,004	491	1,004	491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	水
神奈川	都心部	61	-	0.0	0.0	1,004	491	1,004	491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	水
		62	-	0.0	0.0	1,004	491	1,004	491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	水
	近郊部	63	-	0.0	0.0	1,004	491	1,004	491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	水
		64	-	0.0	0.0	1,004	491	1,004	491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	水
	圏外	65	-	0.0	0.0	1,004	491	1,004	491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	水
		66	-	0.0	0.0	1,004	491	1,004	491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	水
	圏外	67	-	0.0	0.0	1,004	491	1,004	491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	水
		68	-	0.0	0.0	1,004	491	1,004	491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	水
	圏外	69	-	0.0	0.0	1,004	491	1,004	491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	水
		70	-	0.0	0.0	1,004	491	1,004	491	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	水

51, 52: 圏外建設なし、4車線道路の投資を削減し、水を調製するシナリオ。圏外を削減する際、圏外の水への供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。圏外の水供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。圏外の水供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。

53, 54: 圏外建設なし、4車線道路の投資を削減し、水を調製するシナリオ。圏外を削減する際、圏外の水への供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。圏外の水供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。圏外の水供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。

55, 56: 圏外建設なし、4車線道路の投資を削減し、水を調製するシナリオ。圏外を削減する際、圏外の水への供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。圏外の水供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。圏外の水供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。

57, 58: 圏外建設なし、4車線道路の投資を削減し、水を調製するシナリオ。圏外を削減する際、圏外の水への供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。圏外の水供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。圏外の水供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。

59, 60: 圏外建設なし、4車線道路の投資を削減し、水を調製するシナリオ。圏外を削減する際、圏外の水への供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。圏外の水供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。圏外の水供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。

61, 62: 圏外建設なし、4車線道路の投資を削減し、水を調製するシナリオ。圏外を削減する際、圏外の水への供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。圏外の水供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。圏外の水供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。

63, 64: 圏外建設なし、4車線道路の投資を削減し、水を調製するシナリオ。圏外を削減する際、圏外の水への供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。圏外の水供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。圏外の水供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。

65, 66: 圏外建設なし、4車線道路の投資を削減し、水を調製するシナリオ。圏外を削減する際、圏外の水への供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。圏外の水供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。圏外の水供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。

67, 68: 圏外建設なし、4車線道路の投資を削減し、水を調製するシナリオ。圏外を削減する際、圏外の水への供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。圏外の水供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。圏外の水供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。

69, 70: 圏外建設なし、4車線道路の投資を削減し、水を調製するシナリオ。圏外を削減する際、圏外の水への供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。圏外の水供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。圏外の水供給の削減は、圏外の水供給の削減を伴って行われる。

B) 水資源配分の効用最大化に係る検討

水資源配分シナリオ評価より、節水等によって獲得された水は、生活用水、生産用水、生態用水(河川水)として活用される。以下に収支式を示す。

$$D_w + P_w + R_w = I_{rw} + D_{rw} + P_{rw} \quad \dots(2)$$

ここに、 D_w :生活用水量、 P_w :生産用水量、 R_w :生態用水量、 I_{rw} :農業セクター節水量、 D_{rw} :生活セクター節水量、 P_{rw} :工業セクター節水量。

式2を金銭的収支で表現すると次式のようになる。

$$-L_w + P_p + P_{p-or} \geq CI_{rw} + CD_{rw} + CP_{rw} \quad \dots(3)$$

ここに、 L_w :労働賃金、 P_p :生産額、 P_{p-or} :他流域での生産額、 CI_{rw} :農業セクター節水費用、 CD_{rw} :生活セクター節水費用、 CP_{rw} :工業セクター節水費用である。適正に処理され放流された排水は他流域で十分生産用水として活用される可能性があるため、他流域の生産額 P_{p-or} を考慮した。

さて、式3の右辺について考察する。この節水化により獲得した水資源の効用が最大化した場合、流域の生産は最大化にいたると考えられる。そこで、流域は節水によって獲得された水資源の“消費者”であるとし、次の効用関数を考える。

$$U = M_w^\mu T_w^{1-\mu} \quad \dots(4)$$

ここに、 U :コブ=ダグラス型の効用関数、 M_w :中水の消費を示す合成された指数、 T_w :上水の消費、 μ :中水への支出割合を表す定数。ここで、 M_w は財どうしの差別化が連続的に変化する財空間で定義される部分効用関数を表す。差別化に対応するインデックスを i として、 $m_w(i)$ で多様な各財の消費量を表す。また、 n で多様性の程度を表す。ここでは、中水が生活節水分と工業節水分の2種類で表されるため $n=2$ となる。これより、CES 関数を用いて、 M_w を次式で表す。

$$M_w = \left(\sum_{i=1}^n m_w(i)^\rho \right)^{1/\rho}, 0 < \rho < 1 \quad \dots(5)$$

ここに、 ρ :中水の多様性を選好する度合いを表す。 $n=2$ から、式5は次式のようになる。

$$M_w = \left(D_{rw}^\rho + P_{rw}^\rho \right)^{1/\rho}, 0 < \rho < 1 \quad \dots(6)$$

ここに、生活セクター節水量と工業セクター節水量の代替の弾力性は次式で表される。

$$\sigma = \frac{1}{1-\rho} \quad \dots (7)$$

生活セクター節水費用 CD_{rw} と工業セクター節水費用 CP_{rw} 及び、農業セクター節水費用 CI_{rw} は所与であることから、流域は以下の予算制約のもとで式(4)の最大化を目指す。

$$Y = CI_{rw} \cdot T_w + CD_{rw} \cdot D_{rw} + CP_{rw} \cdot P_{rw} \quad \dots (8)$$

なお、各種シナリオに従い、 Y は決定される。この問題を 2 段階で解く。ここでは、選好が上水と中水で分離可能であり、中水の部分効用関数 M_w が数量 $m_w(i)$ に関して相似拡大的であるため、2 段階の予算配分が可能である。

中水 M_w を達成する費用を最小にするための生活セクター節水と工業セクター節水を選択する。これは以下の最小化問題を解くことで導かれる。

$$\min \quad CD_{rw} \cdot D_{rw} + CP_{rw} \cdot P_{rw} \quad \text{s.t.} \quad (D_{rw}^\rho + P_{rw}^\rho)^{1/\rho} = M_w \quad \dots (9)$$

この費用最小化問題の第 1 階条件は生活セクター節水と工業セクター節水について限界代替率と価格比率が等しくなることである。

$$\frac{D_{rw}^{\rho-1}}{P_{rw}^{\rho-1}} = \frac{CD_{rw}}{CP_{rw}} \quad \dots (10)$$

これより、次式を得る。

$$D_{rw} = P_{rw} \left(\frac{CP_{rw}}{CD_{rw}} \right)^{1/(1-\rho)} \quad \dots (11)$$

これを式 9 の制約式に代入すると、次式を得る。

$$P_{rw} = \frac{CP_{rw}^{1/(\rho-1)}}{(CD_{rw}^{\rho/(\rho-1)} + CP_{rw}^{\rho/(\rho-1)})^{1/\rho}} M_w \quad \dots (12)$$

式 12 より、工業セクター節水への支出は次のようになる。

$$CP_{rw} \cdot P_{rw} = (CD_{rw}^{\rho/(\rho-1)} + CP_{rw}^{\rho/(\rho-1)})^{(\rho-1)/\rho} M_w \quad \dots (13)$$

中水の価格指数を G_{mw} とすると,

$$G_{mw} \equiv (CD_{rw}^{\rho/(\rho-1)} + CP_{rw}^{\rho/(\rho-1)})^{(\rho-1)/\rho} = (CD_{rw}^{1-\sigma} + CP_{rw}^{1-\sigma})^{1/(1-\sigma)} \quad \dots (14)$$

となる. ここに,

$$\rho \equiv \frac{\sigma-1}{\sigma}, \quad \sigma \equiv \frac{1}{1-\rho} \quad \dots (15)$$

価格指数 G_{mw} は中水 M_w を調達するための最小費用を表す.

流域は最終的に総予算を灌漑節水から得られた上水と生活及び工業排水処理から得られた中水に区分すること, すなわち, T_w と M_w を以下の式のように選択する.

$$\max U = M_w^\mu T_w^{1-\mu} \quad s.t. \quad G_{mw} \cdot M_w + CI_{rw} \cdot I_{rw} = Y \quad \dots (16)$$

これを解いて, 次のような結果を得る.

$$I_{rw} = \frac{(1-\mu)Y}{CI_{rw}} \quad \dots (17)$$

$$M_w = \frac{\mu Y}{G_{mw}} \quad \dots (18)$$

ここに, 式 17 は農業セクター節水に係る需要関数であり, 式 18 は生活及び工業セクター節水の合成された需要関数である. これを生活及び工業に区分すると, 次式が得られる.

$$D_{rw} = \mu Y \frac{CD_{rw}^{-\sigma}}{G_{mw}^{-(\sigma-1)}} \quad \dots (19)$$

$$P_{rw} = \mu Y \frac{CP_{rw}^{-\sigma}}{G_{mw}^{-(\sigma-1)}} \quad \dots (20)$$

これを解くことにより, 水資源配分の効用最大化が図られ, シナリオ評価に反映することが可能となる.

C)シナリオ評価事例

前節で導出した式 17-20 を用い, Table 3.3.2 のパラメータを活用し, 節水, 水処理等から得られた流域の水資源獲得量を算定した. また算定結果と Table 3.3.1 に示したシナリオを比較検討し,

各シナリオを評価した。

Table 3.3.2 シナリオ評価のためのパラメーター一覧

パラメータ		設定数値	備考
Y	水資源獲得費用(億円)	112 億円	・表 3.3.1 シナリオ S4, S10 に対応
		173 億円	・表 3.3.1 シナリオ S6, S12 に対応
μ	生活, 工業節水への支出比率	0-1	・比率を変動させ評価 (図 3.3.11, 3.3.12)
ρ	中水の多様性の選好度合	0.5	-
σ	生活節水と工業節水の代替の弾力性	2.0	・Eq.15
G_{mw}	価格指数	2.2	・Eq.14

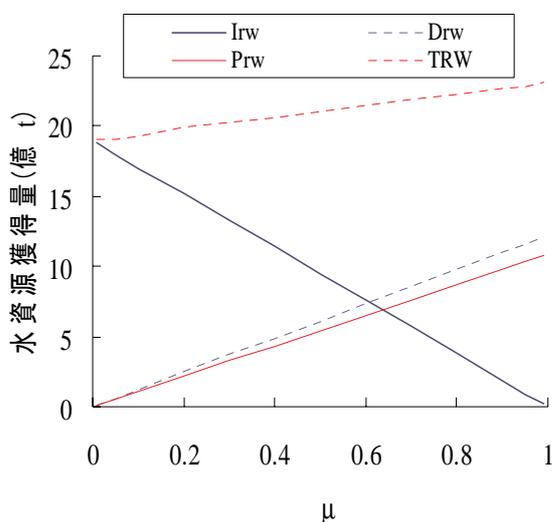


Fig.3.3.11 μ の変化に伴う流域水資源獲得量変化 (灌漑効率向上シナリオの場合)

→Table 3.3.1 シナリオ S4, S10 に対応

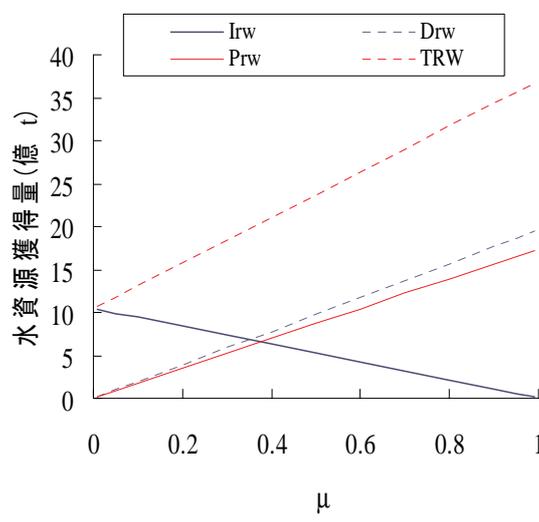


Fig.3.3.12 μ の変化に伴う流域水資源獲得量変化 (灌漑面積拡充シナリオの場合)

→Table 3.3.1 シナリオ S6, S12 に対応

Fig.3.3.11 に Y が 112 億円で、灌漑効率向上シナリオに対応する結果(Table 3.3.1, S4 及び S10 に対応(2010 年時)), Fig.3.3.12 に Y が 173 億円で、灌漑面積拡充を伴う食糧増産シナリオに対応する結果(Table 3.3.1, S6 及び S12 に対応(2010 年時))を示す。Fig.3.3.11 において、シナリオ S4 及び S10 に対応する ρ は 0.8, Fig.3.3.12 では S6 及び S12 に対応する ρ は 0.5 である。なお、図中の I_{rw} : 農業セクターからの水獲得量, D_{rw} : 生活セクターからの水獲得量, P_{rw} : 工業セクターからの水獲得量, TRW: 水獲得量合計値である。

Table 3.3.1 で示した節水関連目標から得られた各セクターからの水獲得量と Fig.3.3.11 及び Fig.3.3.12 に示す各セクターの水獲得量はほぼ一致しており、シナリオにて設定した灌漑効率及び排水処理率に係る目標値の妥当性を確認できた。また、 ρ を変化させることにより、水獲得費用の予算制限の中で、食糧安全保障を図るのか、生態系に配慮するのか、あるいは工業セクターに

おける生産性を高めるのか等の目標を定めることができる。概念を Fig.3.3.13 に示す。

図は水獲得予算配分を農業節水と生活及び工業排水処理のどちらに比重を置くかによって各政策効果が変化する様子を示している。

Table 3.3.1 にも示したように、食糧安全保障を含む全てのシナリオにおいて、今後農業セクターに水を新たに配分することはない。節水等によって得られえた水は全て人口増に対応するための生活用水又は、工業等への生産用水として配分される。図にて生産性向上が生態系保全重視とともに上昇するのは、ある予算制限の中で水を獲得する場合、耕地を削減する場合を除き、灌漑効率向上又は灌漑面積拡充に係る費用が排水処理にかかる費用に比し若干高いためである。また、排水処理率を低くした場合、これは該当流域の下流に位置する各流域への水資源獲得費用を高めることになり、他流域への負荷となる。こうした理由から ρ が0に近づくにつれ、生産性が低くなることが考えられる。

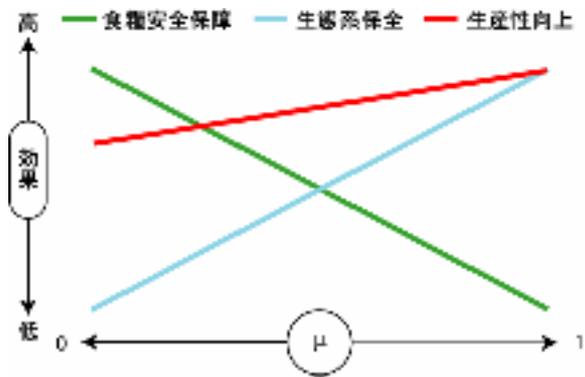


Fig.3.3.13 水獲得予算配分と政策目標の関連

D)シナリオ評価まとめ

a.食糧減産シナリオの比較

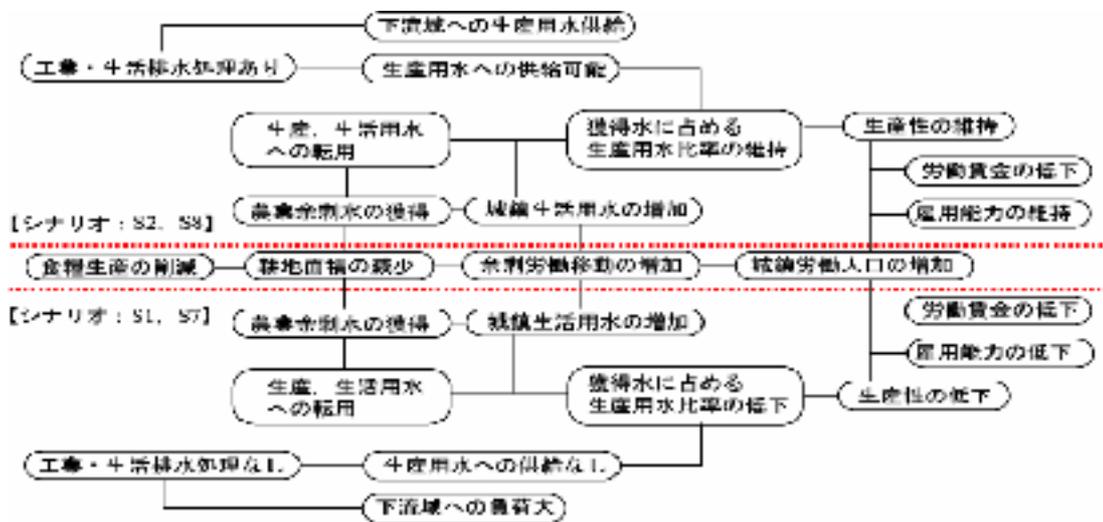


Fig.3.3.14 食糧減産に係るシナリオ評価

Fig.3.3.14 に食糧減産に係るシナリオ評価を示す。食糧減産に係るシナリオは Table3.3.1 の S1, 2, 7, 8 である。このうち、排水処理ありが S2, S8, 排水処理なしが S1, S7 である。図の各要素の関係性から、S1, 7 では、投資がもっとも低くてすむものの、最終的には雇用能力の低下、労働賃金の低下をもたらし、社会を不安定化させる可能性が高いと考えられる。一方、排水処理により生産用水を獲得できるシナリオ S2, 8 では、生産用水維持から雇用能力は S1, 7 に比し維持される。しかし、余剰人口の流入が大きいため、労働人口が大きく、個々の賃金は低く抑えられると考えられる。

また、これらのシナリオでは耕地面積を削減するため、急速な余剰労働力の移動が生じる。これにより、郷村から発生した余剰労働力は教育水準の関連から都市のインフォーマルセクターに配属される可能性が高く、さらにスラム化のリスクも高いと考えられる。ただし、シナリオ S2, 8 において高い生産性が確立され、余剰労働力を全て受け入れ可能となった場合は、二重経済論の観点から、経済の発展が急速化することが予想される。

b. 食糧維持シナリオの比較

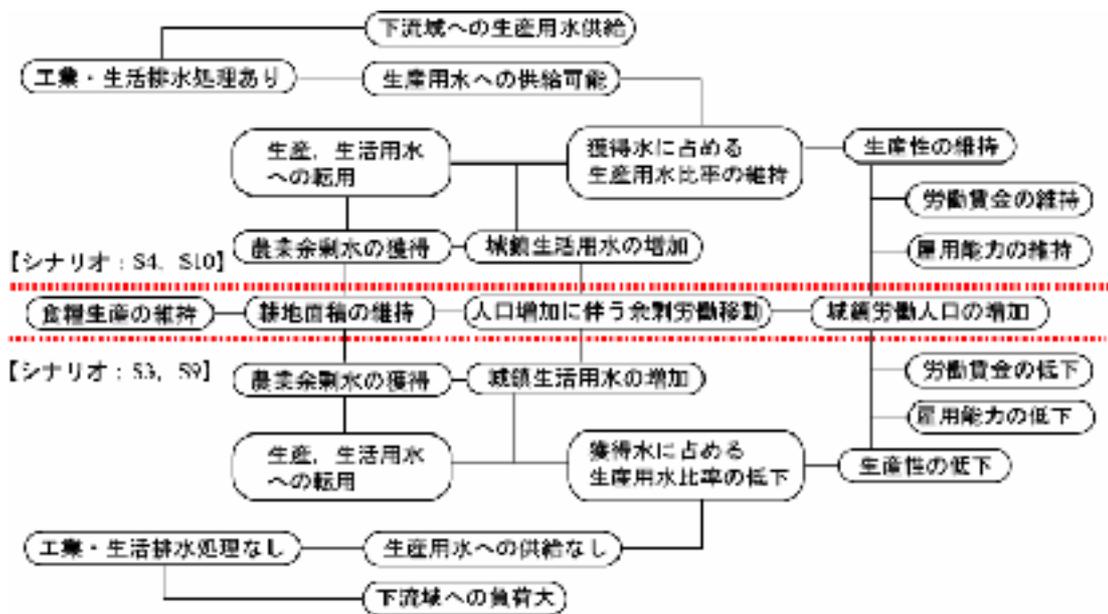


Fig.3.3.15 食糧生産維持に係るシナリオ評価

食糧生産維持の場合のシナリオ評価を Fig.3.3.15 に示す。ここでも排水処理のないシナリオ S3, 9 では生産性の低下から、雇用能力の低下、労働賃金の低下が懸念される。農村及び城鎮から発生する余剰労働力は全て城鎮の工業セクター等で雇用されるため、雇用の安定化は流域の安定化に必要である。排水処理により、多くの生産用水が獲得できるため、水供給制約下において、排水処理は不可欠であると考えられる。

c. 食糧増産シナリオの比較

食糧増産の場合のシナリオ評価を Fig.3.3.16 に示す。これは Fig.3.3.15 と殆ど変わらないが、Fig.3.3.11 と 12 との比較から、他のシナリオに比し非常に大きな投資が必要である。

d. シナリオ評価まとめ

全てのシナリオを相対的に比較した結果、水供給制約下にて社会の安定を図るためには、「耕地面積の維持」及び「排水処理」は不可欠であることが分かった。よって、短期、中期的にシナリオ S4, 10 を選択し、生産性の向上に努め、資本ストックを拡充し、長期的に人口がピークをむかえる時点で「灌漑面積拡充」を含む S6, 12 へのシフトが望ましいと考えられる。

なお、ここでは都市化と非都市化の差別化を図らなかった。社会学的な知見によると既存の研究成果から、中国では都市化によって社会が発展する説、郷鎮企業が十分な体力を持ち、非都市化によって今後も十分な社会の発展が可能と考える説が存在する。これより、本研究での具体的な差別化を避けた。ただし、シナリオを用いた数値的な比較では、都市化の方が「排水処理」による「生活用水再生利用量」が多く、集積効果が見られる。

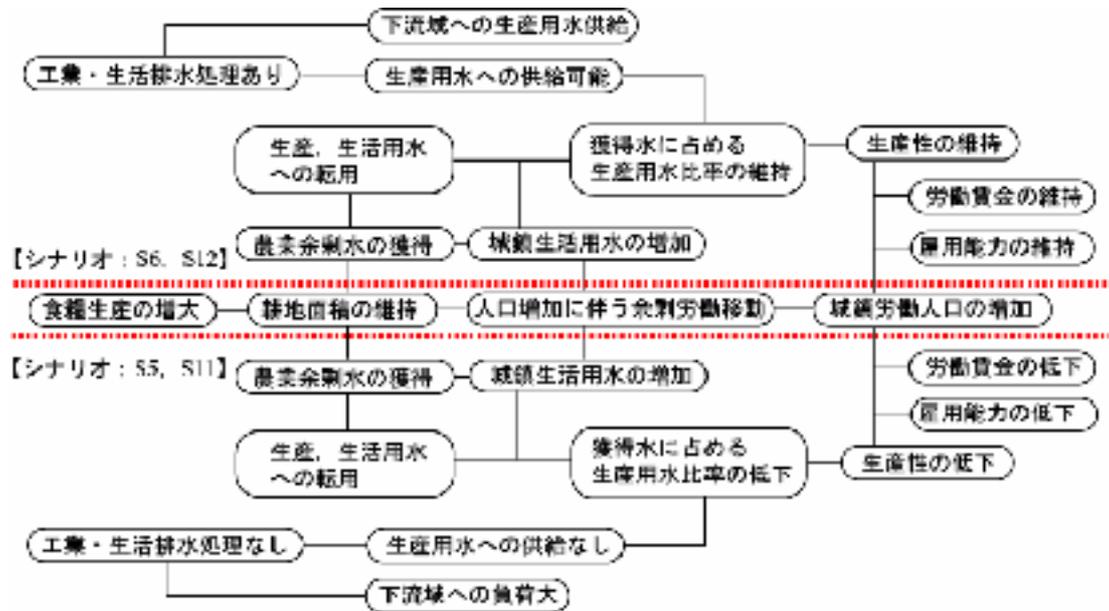


Fig.3.3.16 食糧増産に係るシナリオ評価

(2)研究成果の今後期待される効果

渭河流域を対象とし、水量水質統合モデルを開発した。モデルの精度は良好であったので、これをカウンターパートである西安建築科技大学にて活用し、今後の政策立案に有効に機能することが願われる。

水供給制約の条件のもと、今後の流域水配分のあり方について得られた知見をもとに、渭河流域の水利用の効率化が期待される。

生態系に対する配慮を今後含める必要がある。この課題は次のフェーズとしたい。

黄河流域の検討

(1)研究実施内容及び成果

1)研究目標

黄河流域は元来降水量が少ない地域であるが、農業・工業生産の増大、都市への人口流入、市民生活水準の向上等により水利用量が大幅に増加しており、これに伴い、流域の水資源不足と水環境汚染は深刻化している。今後、流域の経済成長を持続していくためには、水資源を有効に利用することが不可欠である。そこで、本論では、複数の将来シナリオのもと水循環計算を実施し、黄河流域の水利用効率化計画を提案することを目標とする。

2)研究方法

A. 黄河流域における水量水質統合モデルの開発

(a) モデルの概要

黄河流域の水循環システムを把握、分析するため、黄河流域の自然流出過程解析モデルと、渭河流域の水量水質統合モデルをベースに黄河流域における水量水質統合モデルを開発した。モデルの概要を Table 3.3.3 に示す。

水量解析モデルは、グリッドに対応した斜面要素と河道要素から構成される。各要素

は、ともに自然系の水循環過程と人工的な水循環過程を表現可能としている。グリッドの大きさは 10km×10km であり、小流域をグリッドの集合体として表現した。また、各グリッドは、土壌水分移動の解析を可能とするために、表層と不圧帯水層からなる 2 層構造としている。

水質解析モデルは、水量解析モデルで導かれた流出量と流域内で発生する点源・面源負荷量を入力値とし、一次元移流分散方程式に基づき解析を行う。都市域での点源負荷量は原単位法により、耕地等での面源負荷量は、水量解析モデルに SWIM を組み込むことにより、SS、窒素等を算定した。水質解析における計算項目は、SS、BOD₅、DO、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N とした。

(b)入力条件の設定

本モデルは、Table 3.3.3 に示すとおり、多種の入力データを必要とする。主な項目の設定方法及び条件を以下に整理する。

a)流域分割

水量解析モデルでの計算対象流域は、黄河の流域である花園口より上流とした。Pfafstetter 流域

Table 3.3.3 モデルの概要

対象と評価の 空間的対象	対象範囲	黄河流域(黄河花園口)
	流域分割	Pfaffstetter 流域分割法 (1974年)
	グリッドサイズ	10km×10km
	グリッド数	112×261=41282グリッド
水文量解析に 用いる基礎式	河川流量	Kennedy-Muscadé, Manning式
	土壌水分移動	Richard式, VanGenuchten式, Darcy式
	地下水移動	Flow式
入力データ	気象データ	経度・緯度量, 気温, 風速, 日照時間
	土地利用・土壌利用 に関するデータ	人口, 土地利用, 生活・工業排水量, 河川流量, 土地利用, 流域長
	グリッドデータ	経度, 土壌利用, 農業施肥, 流域長, 一次元移流, 地表積厚, 植生分布, 河床高
	その他の入力 データ	流域長, 河川流量, 河川断面, 河床高, 二次元移流, ハルバーグ
出力データ	河川	流量, 河床高
	グリッド	二次元流量, 地下水位, 気象データ

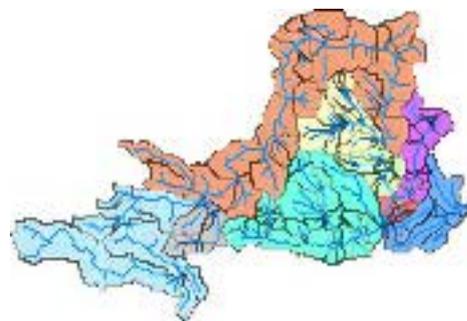


Fig.3.3.17 流域分割結果

分割法を用い137流域に分割した。また、分割された全ての流域に対し合流順序を決定し、流下方向の河川流量、汚濁物質負荷量の収支計算を可能としている。なお、黄土高原内の鄂尔多斯盆地は、黄河への流入が認められないため、モデルの水収支計算過程で、河道への流入を除外している。流域分割結果をFig.3.3.17に示す。

b) 気象データ

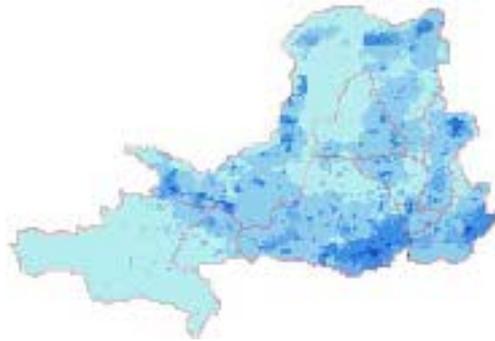
気象データは、計算範囲内全てのグリッド毎に作成する必要がある。黄河流域内およびその周辺に位置する121観測所の観測結果を利用し、各グリッドの近傍に位置する8観測所の観測値と距離による重み付け計算を行い設定する。この方法により、グリッド別降水量、気温、風速、日照時間を算定する。可能蒸発散量は、Penmann-Monteith法により算定する。

c) 人工水利用データ

・人工水利用分布

人工水利用の空間分布を把握するに当り、まず人口及び工場の空間分布データを作成した。各省の統計年鑑から整理した県級市毎の人口・工場数を、流域の夜間光源抽出データと照合し、城鎮・郷村人口及び規模別工業別工場

生活用水量



工業用水量

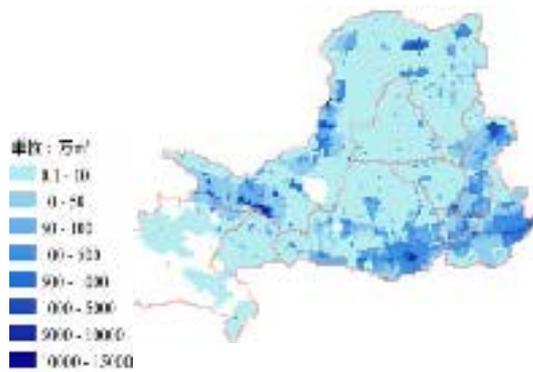


Fig.3.3.18 セクター別水利用分布 (2000年)



Fig.3.3.19 モデル化したダムの位置

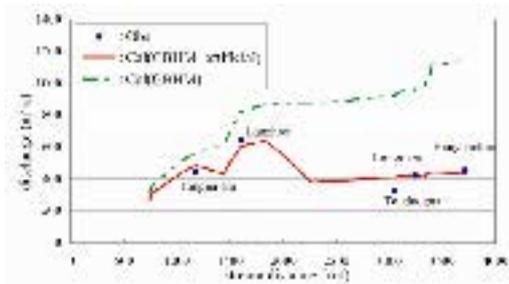


Fig.3.3.20 河川流量縦断変化(1997年平均)

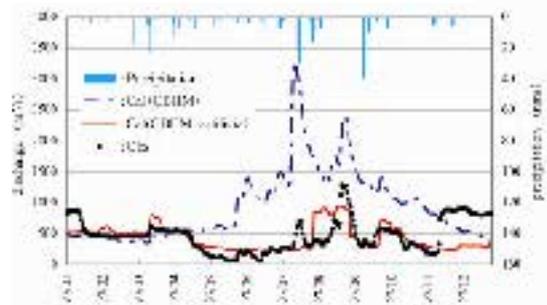


Fig.3.3.21 龍門地点流量変化 (1997年)

分布を作成した。また、同じく各省の統計年鑑より県級市毎の年間生活・工業用水量を整理し、人口・工場数で序することで県級市別・セクター別の用水原単位を作成した。人口に各種原単位を乗じ、生活・工業用水量の空間分布データを作成した結果を Fig.3.3.18 に示す。

・ダム

Fig.3.3.19 は、黄河流域内の主要ダムの位置であり、モデル上の位置および貯水容量を整理した。ダムのオペレーションは、主要灌漑区における必要灌漑用水量および生活、工業用水量を貯水容量から減じ計算を行った。ダム放流量の計算は、主要地点の実測流量に合致するよう適宜設定した。

d) 計算結果

モデルによる現状再現計算を行った。Fig.3.3.20 は、河川の年平均流量を縦断方向に沿って表したものであり、Fig.3.3.21 は、龍門地点流量の時系列変化を示したものであるが、計算値と実測値が概ね一致しており再現計算結果は良好である。

b. 将来シナリオの検討

黄河流域の将来的な水利用・管理を考えるにあたり、将来シナリオを設定したうえで検討する必要がある。将来の流域水循環を左右するシナリオとしては、気象シナリオと社会経済シナリオがあり、これらのシナリオ設定如何により流域の将来像が全く違ったものとなる可能性を秘めており、十分かつ慎重な作業が必要である。そこで、気象及び社会経済シナリオの設定方法を以下に示す。

の特性を把握した。各種気象データにおける特性は、Table 3.3.4 に示すとおりであり、それぞれの確率分布型に従い、気象データを推測することとした。

・空間分布

水量水質統合モデルの入力条件とするため、代表観測所における気象データの空間分布を作成する。ここで降雨量については、水資源量への影響が大きいため、適切な空間分布を行う必要があるため、代表観測所とその他の観測所との

関連性を過去のデータを基に検討した。検討対象データは、月降雨量とし、代表観測所との相関関係を整理し、区分した。この区分に従い、代表観測所で推測した月降雨量を回帰式により補正を行うことで、適切な空間分布を設定した。

・気象推測モデル

以上を踏まえ、気象推測モデルを作成した。モデルの計算手順を Fig.3.3.23 に示す。

本モデルを用いて気象シナリオを設定する。本モデルでは、Box-Muller 法により発生させた乱数により無限の気象データの作成が可能となるが、将来シナリオ設定に当たっては、50 年確率による渇水、平水、豊水期のデータを抽出し、設定するものとした。代表観測所における各期別の年降雨量を取りまとめると Fig.3.3.24 のようになる。

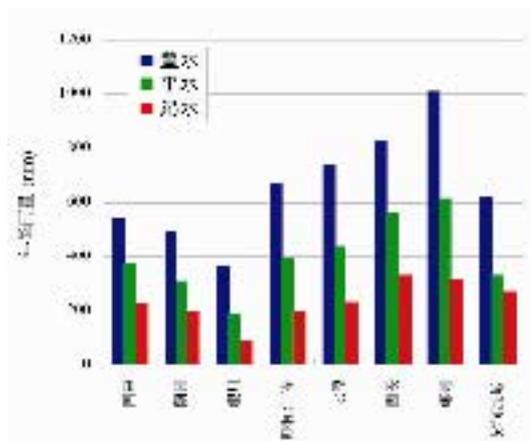


Fig.3.3.24 代表観測所における年降雨量の推定値

Table 3.3.5 検討対象流域

流域名	主要都市	位置
上流域	西寧、蘭州、銀川	源流～河口鎮
中流域	呼和浩特	河口鎮～渭河合流前
汾河流域	太原	
渭河流域	西安	
下流域	鄭州	渭河合流後



Fig.3.3.25 黄河流域の役割分担検討対象流域

(b)社会経済シナリオの設定

社会経済シナリオの設定においては、水利用効率化の段階的な予想が可能となるように、2010 年(短期)、2030 年(中期)、2050 年(長期)の 3 段階でのシナリオを考えた。また、検討に際しては、黄河流域を Table 3.3.5、Fig.3.3.25 に示す 5 つの流域に分割し、各々の役割分担、連携体制を検

討できるよう配慮した。

シナリオ設定にあたっては、水供給制約下における「流域経済成長の最大化」を目標とし設定を行う。その手段として、都市化の段階的推進を基本とする。中国における農村工業化については、二重経済モデルを用いての研究が過去になされてきており、大きく次の二つのタイプに分けられる。一つは、都市－農村間の制度的隔離を前提とし、農村内部に擬似的な近代部門として郷鎮企業を組み入れるタイプであり、もう一方は、農業と都市工業の外側に新たに生成してきた第3の部門として郷鎮企業を捉えるタイプである。ただし両者とも都市－農村間の移動の制限が一定期間存在することを前提とし、やがて農村工業と都市工業間の労働移動が自由になるものと考えている。¹⁾この考え方を今回検討シナリオに反映させるものとし、短期的に農村工業化が推進され、中長期的に都市化が進展していくものと仮定した。このシナリオをモデルに反映させるため、2010年までは、農村から都市への人口移動を制限し、2030年、2050年については、農村から都市への人口移動を認めることとした。都市中心部の人口予測結果をFig.3.3.26に示す。

一方、水供給に関しては、農村部において、農業用水を工業用水に転用することとし、その方策として、「食糧生産の削減」と「節水灌漑の導入」の二つを検討する。都市部では地盤沈下が深刻化しており、生活用水の節水システムの導入は避けられない状況から、中水システムを導入する。また、工業部門においては、工業用水の再生利用率を向上させることで、過剰な水摂取を抑制する。

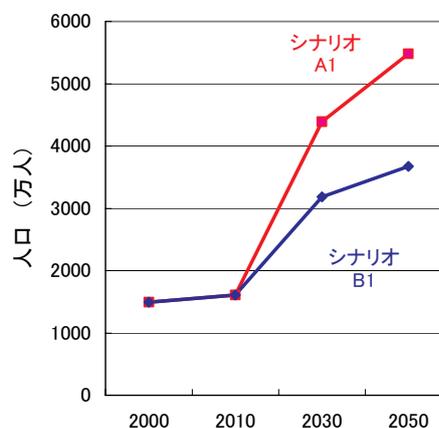


Fig.3.3.26 都市中心部の人口予測

C. 研究成果

前述のシナリオ設定を行った場合の流域の水利用効率化について検討を行った。社会経済シナリオの設定条件はTable 3.3.6に示すとおりであり、先に分割した5流域において同条件で検討した。なお、水供給は、新規用水量の現状維持を前提とし、気象条件は平水時とした。流域経済成長の最大化を図るため、農業用水の他セクターへの転用を行うこととし、その方策として、耕地削減(シナリオA1)、節水灌漑(シナリオB1)の2ケースの水利用の効率化を検討した。Fig.3.3.27に2050年における節水等による水資源獲得に要する投資額を、Fig.3.3.28に新規用水量の流域別、セクター別の内訳を示す。なお投資額の算定は、中国環境年鑑より得られた以下の指標を用い概算した。

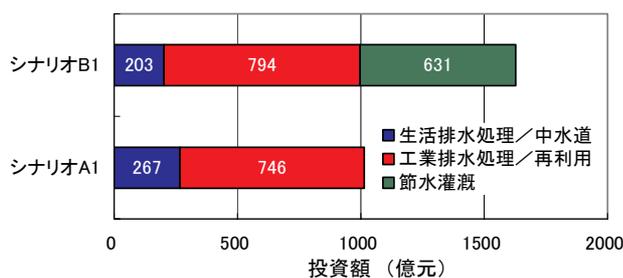


Fig.3.3.27 節水等水資源獲得投資額

- ・工業排水処理: 初期投資 4.46 元/m³、維持管理 0.43 元/m³、(陝西省)
- ・生活排水処理: 初期投資 4.20 元/m³、維持管理 0.46 元/m³、(陝西省)

・節水灌漑投資:5.28 元/m³、(甘粛省)

シナリオ A1 では、耕地削減により農業用水を現状の 7 割に抑制し、工業、生活セクターで再生水を利用することで、新たに工業用水 82 億 m³、生活用水 22 億 m³の新規用水量を獲得できる。節水に係わる投資額は、2050 年時点で約 1000 億元となり、うち工業排水処理で 75%、生活排水処理で 25%となる。農村部での節水対策による投資を必要としないが、流域内の食糧不足による食糧価格の上昇は避けられず、これらを工業生産の増産でまかなう必要がある。

Table 3.3.6 将来シナリオ設定条件

項目		現状 2000 年	短期 2010 年	中期 2030 年	長期 2050 年	
制約		水供給制約（新規利用水の現状維持）				
目標		流域経済成長の最大化				
律速		工業用水の優先的確保（農業用水の転用）				
手段		都市化の段階的推進				
各種 方 策	農業	耕地削減 (シナリオ A1)	耕地削減率 0%	10%	20%	30%
		節水灌漑の導入 (シナリオ B1)	灌漑効率 40%	50%	60%	70%
	工業	排水処理	排水処理率 20%	50%	70%	90%
		再生利用率の向上	再生利用率 50%	60%	70%	80%
	生活	城鎮排水処理	排水処理率 20%	50%	70%	90%
		大中都市の中水道 の導入	中水道導入率 0%	20%	40%	60%

シナリオ B1 では、節水灌漑により農業用水を現状の 7 割に抑制し、再生水利用により、新たに工業用水 91 億 m³、生活用水 13 億 m³の新規用水量を獲得できる。シナリオ A1 に比して、生活用水量の新規用水量の増分が少ない理由は、耕地削減により発生する余剰労働力の発生を抑えている為である。節水に係わる投資額は、2050 年時点で約 1630 億元となり、節水灌漑システムへの資本ストックの再投下が必要であり、シナリオ A1 に比して、2050 年までに約 615 億元の投資が必要となる。食糧生産量は現状維持される為、シナリオ A1 で述べた食糧価格の上昇は極力抑えられる。

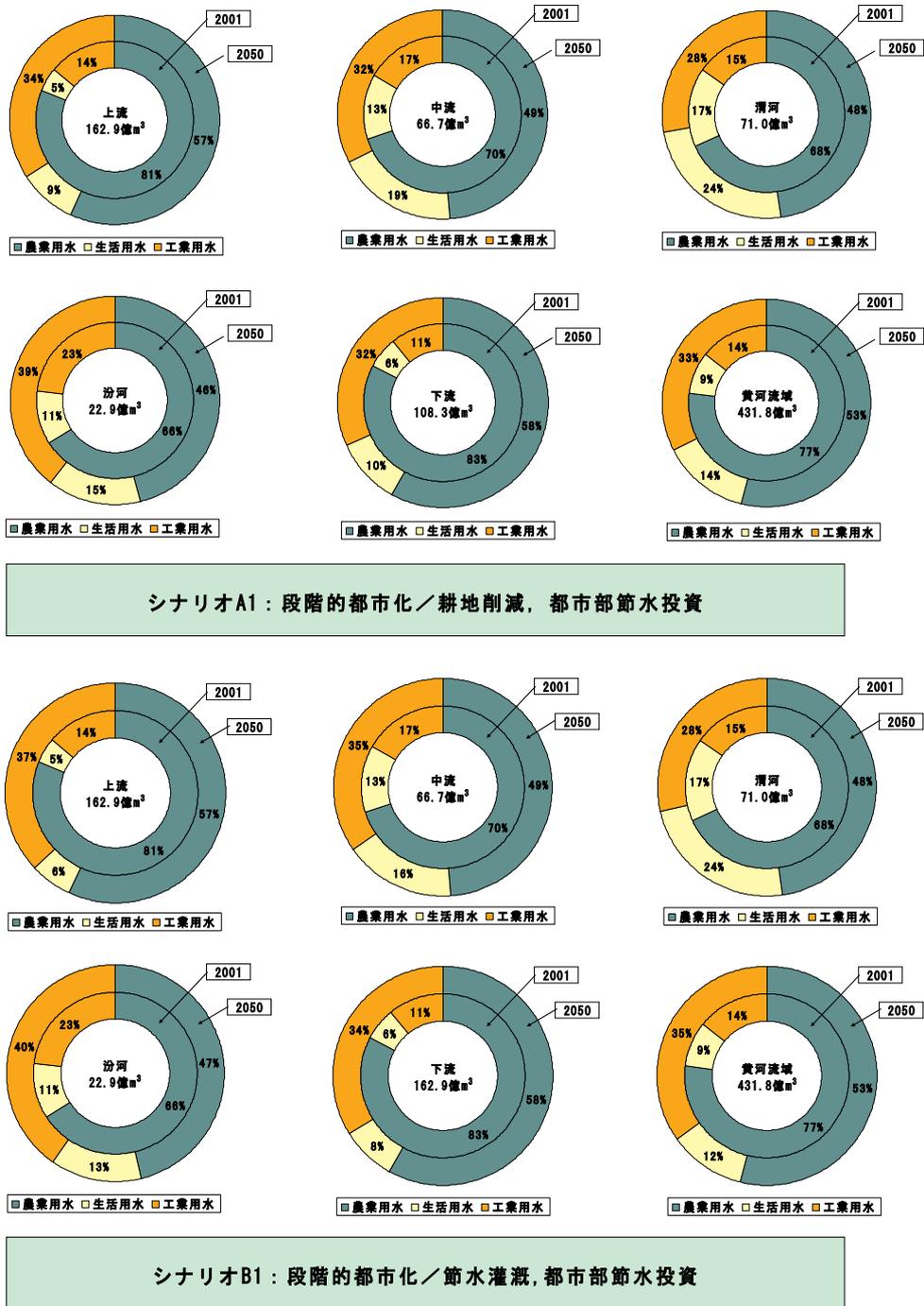


Fig.3.3.28 新規用水量の変化

d)考察・結論

本論では、水供給制約下における流域経済成長の最大化を目標とした流域デザインを行った。段階的な都市化の推進と耕地削減あるいは節水灌漑導入による農業用水の工業用水への転用により、経済成長に重きをおいたうえで水利用の効率化を図ることが十分可能であることが示され

た。ただし今回提示した将来シナリオは、工業生産量を増産するシナリオである為、市場への製品の供給過多となることが懸念され、輸出を含めた市場規模拡大の可能性の検証が必要である。

(2)研究成果の今後期待される効果

段階的な都市化の推進と耕地削減や節水灌漑導入による農業用水の工業用水への転用により、経済成長に重きをおいたうえで、経済を重視した水利用の効率化を図ることが十分可能ではあるが、食糧自給の安定化を考えると、最適値の選択は慎重になされなければならない。まさに、政策議論となるが、支援ツールとして、種々の条件にてさらに検討した成果を示していくことにより、本研究の成果はより有効に活用される。

【参考文献】

- 1) 加藤弘之:中国の経済発展と市場化—改革・開放時代の検証, 名古屋大学出版会, 1997.

3.4 土砂輸送(九州大学大学院工学研究院 橋本晴行助教授グループ)

(1)研究実施内容及び成果

1) 研究目標

本研究は、黄河中流支川を対象として、現地河道における洪水流の抵抗と流砂量則の解明を基礎とした土砂輸送モデルの構築を図るとともに、任意の河道地点における土砂流出量の予測法を明らかにしたものである。

2) 研究手法

まず、黄河中流支川の流域特性を明らかにするため衛星画像解析、地形図解析を行った。次に、黄河中流支川で発生する高濃度洪水の抵抗と流砂量則を解明するため、支川の水理・水文資料を入手するとともに、高濃度洪水を実験室に再現した。さらに、流出予測を可能とするため、貯留関数法による流出解析を行い、パラメータ同定を行った。最後に、任意地点における流量および流砂量ハイドログラフの予測法を明らかにするため、現地河道を対象に河床変動シミュレーション

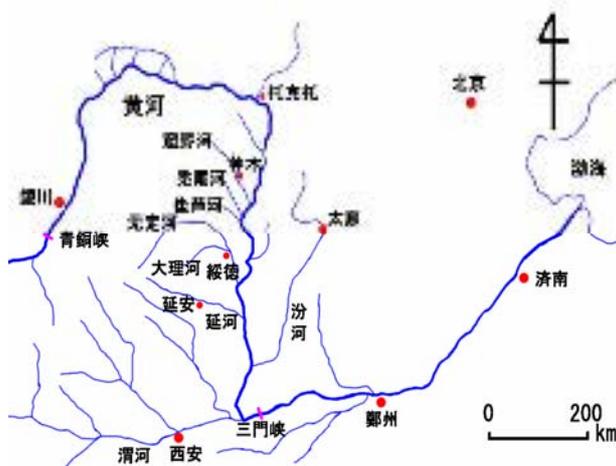


Fig.3.4.1 黄河中流域における主支川



Fig.3.4.2 窟野河流域

ョンを実施した。

Table 3.4.1 流域特性

	流域面積(km ²)	流路延長(km)	河床勾配	河床堆積土砂	平均年間雨量(mm)	流域内人口密度(人/km ²)
窟野河	8,706	242	1/510~1/290	微細砂~粗砂	396.2	34
秃尾河	3,253	130	1/330~1/200			
佳芦河	1,121	75	1/220~1/100			
大理河	3,906	170	1/550~1/230	シルト~微細砂	419.3	106

3) 研究成果

A. 流域の特性

研究対象流域として窟野河(Kuye River), 大理河(Dali River), 秃尾河(Tuwei River), 佳芦河(Jialu River)を選んだ(Fig.3.4.1). これらの流域特性を Table 3.4.1 に示す. 流域面積から見ると, 窟野河は我が国の淀川(流域面積 $A=8,240\text{km}^2$)に, 秃尾河, 大理河は吉野川($A=3,652\text{km}^2$), 佳芦河は太田($A=1,690\text{km}^2$)にそれぞれ匹敵する.

窟野河流域の平面図を Fig.3.4.2 に示す. 河床勾配 i は $i=1/510\sim 1/290$ を示し, 比較的急勾配の河川である. 窟野河流域は地質的に3つの領域に分けられる. 下流域は黄土丘陵, 中流域は砂質丘陵, また, 上流域の一部は礫質丘陵である. 秃尾河, 佳芦河は, いずれも黄土丘陵を通過し, 秃尾河の河床勾配は $i=1/430\sim 1/220$, 佳芦河は $i=1/220\sim 1/105$ である. 大理河の河床勾配は窟野河より急勾配であり, $i=1/270\sim 1/80$ となっている.

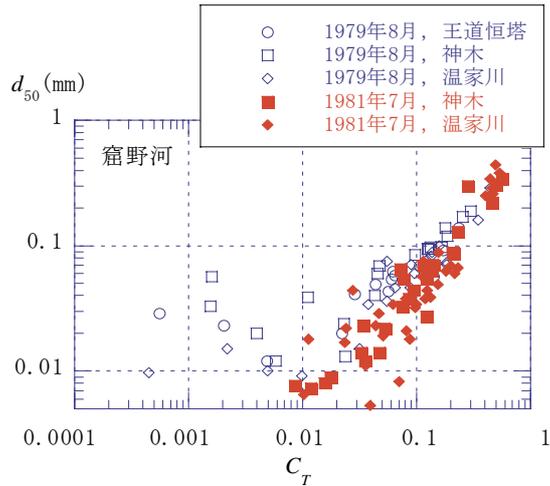


Fig.3.4.3 窟野河における流砂濃度と粒径との関係

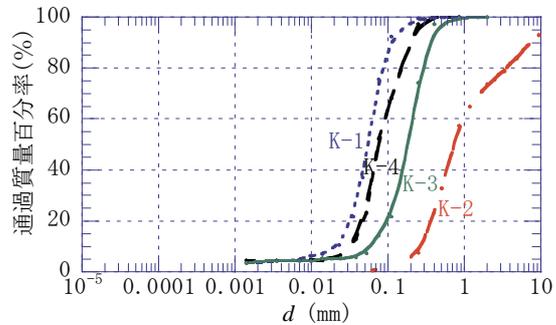


Fig.3.4.4 窟野河において採取された河道堆積土砂の粒度分布

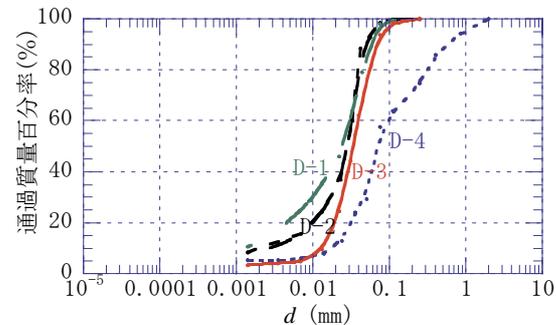


Fig.3.4.5 大理河において採取された河道堆積土砂の粒度分布

これらの流域の年平均雨量は500mm弱を示し、その大部分は7月と8月の時期に集中し、降雨の度に土砂を高濃度に含有した洪水が流下している。また、これらは黄河中流域で最も土砂侵食が深刻な地域である。

次に、窟野河、秃尾河、佳芦河流域の水理・水文観測点における雨量、流量の観測値を用いて流出係数を算出した。その結果、雨量の精度が悪く、バラツキが大きい。流出係数は $f_0=0.05\sim 0.62$ 、ピーク流出係数は $f_p=0.05\sim 1.57$ となることが分かった。また f_0 は f_p より小さな値をとり、 f_p は1より大きい値をとることが分かった。これはピーク時に土砂を高濃度に含有するためである。

B. 流砂と河道堆積土砂の特性

黄河流域では、洪水規模や流砂濃度により流下する土砂の粒径が支川ごとに大きく異なることが知られている(Wan・Wang[1994])。Fig.3.4.3は窟野河における洪水流中の流砂濃度 C_T と流砂の50%粒径 d_{50} との関係を示したものである。流砂濃度 $C_T=0.01\sim 0.05$ を境にして、それ以下では平均的に $d_{50}=0.02\text{mm}$ 程度となるが、それ以上になると濃度とともに流砂の50%粒径が増加する。最大濃度 $C_T=0.5$ 付近では $d_{50}=0.5\text{mm}$ 程度となる。無定河(Wuding River)や渭河(Weihe River)など他の支川に比べて粗粒である。これは河道堆積土砂の粒度分布特性とも対応している。

Fig.3.4.4, 5は窟野河、大理河における堆積土砂の粒度分布を示している。まず、窟野河(Fig.3.4.4)においてK-3, 4は下流の河道堆積土砂、K-1, 2は源流付近の試料、K-1は側岸斜面、K-2は河床堆積土砂である。K-1はシルト、K-2は粗砂、K-3は細砂、K-4は微細砂に分類される。

次に、大理河(Fig.3.4.5)においてD-1, 2は上流地点の試料、D-1はガリの側岸斜面、D-2はガリの河床堆積土砂である。また、D-3, 4は下流地点の河道左岸の試料、D-3は水際、D-4は河岸の堆積土砂である。D-1, 2, 3はシルト、D-4は微細砂に分類される。

K-1, D-4は河岸の堆積土砂である。従って、窟野河、大理河の河床堆積土砂はそれぞれ砂、シルトから構成されていることが分かる。

C. 洪水流における流砂濃度の特性

Fig.3.4.6, 7は窟野河、佳芦河に

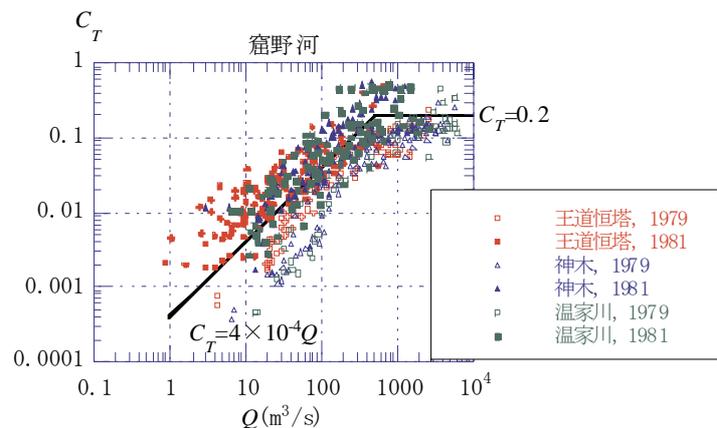


Fig.3.4.6 流砂濃度と流量との関係(窟野河)

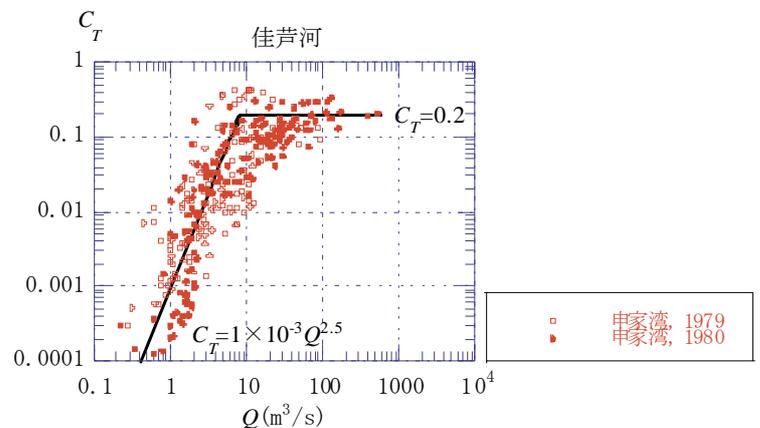


Fig.3.4.7 流砂濃度と流量との関係(佳芦河)

ついて流砂濃度と流量との関係を調べた結果である。まず、窟野河(Fig.3.4.6)において、データのバラツキが大きい、大略の傾向として、濃度が約0.1以下の領域では、濃度は流量に従って増加し $C \propto Q$ の関係となる。一方、濃度が約0.1以上の領域になると、濃度の増加は頭打ちの傾向を示し $0.1 \leq C \leq 0.5$ の間でほぼ一定な傾向を示す。流砂濃度 C は最密充填濃度 $C_* \approx 0.6$ を越えることはできないので、 $0.1 \leq C \leq 0.5$ の間でほぼ一定な値を示すのは当然のことである。中国の文献において良く指摘されていることとして、流量の増加とともに流砂量が増加し、最終的には $Q_s \propto Q$ の関係に収敛していくことが指摘されている。これは、上述のことを流砂量と流量との関係において言い換えているにすぎないことが分かる。

さて、実河川における流砂観測によると、ウォッシュロードの濃度と流量とは

$$C_T = \cdot Q \quad (1)$$

のような関係があることが知られている。窟野河は、ウォッシュロードの輸送特性と同様な関係を示していることが分かる。

次に、佳芦河(Fig.3.4.7)では、流砂濃度が約0.1以下の領域では $C_T \propto Q^{2.5}$ の関係となる。

各河川における観測値から、流量と流砂濃度との関係の経験式を求めると以下のようになる。

(1) 窟野河: $Q \leq 500$ (m³/s) の場合 $C_T = 4 \times 10^{-4} Q$, $Q \geq 500$ (m³/s) の場合 $C_T = 0.2$

(2) 秃尾河: $Q \leq 70.7$ (m³/s) の場合 $C_T = 4 \times 10^{-5} Q^2$, $Q \geq 70.7$ (m³/s) の場合 $C_T = 0.2$

(3) 佳芦河: $Q \leq 8.32$ (m³/s) の場合 $C_T = 1 \times 10^{-3} Q^{2.5}$, $Q \geq 8.32$ (m³/s) の場合 $C_T = 0.2$

(4) 大理河:

1) 青旧岔: $Q \leq 2.71$ (m³/s) の場合 $\overline{C_T} = 1 \times 10^{-2} \overline{Q}^3$, $Q \geq 2.71$ (m³/s) の場合 $\overline{C_T} = 0.2$

2) 李家河: $Q \leq 4.64$ (m³/s) の場合 $\overline{C_T} = 2 \times 10^{-3} \overline{Q}^3$, $Q \geq 4.64$ (m³/s) の場合 $\overline{C_T} = 0.2$

3) 綏徳: $Q \leq 14.9$ (m³/s) の場合 $\overline{C_T} = 6 \times 10^{-5} \overline{Q}^3$, $Q \geq 14.9$ (m³/s) の場合 $\overline{C_T} = 0.2$

ここに、大理河のデータは日平均化されたものである。

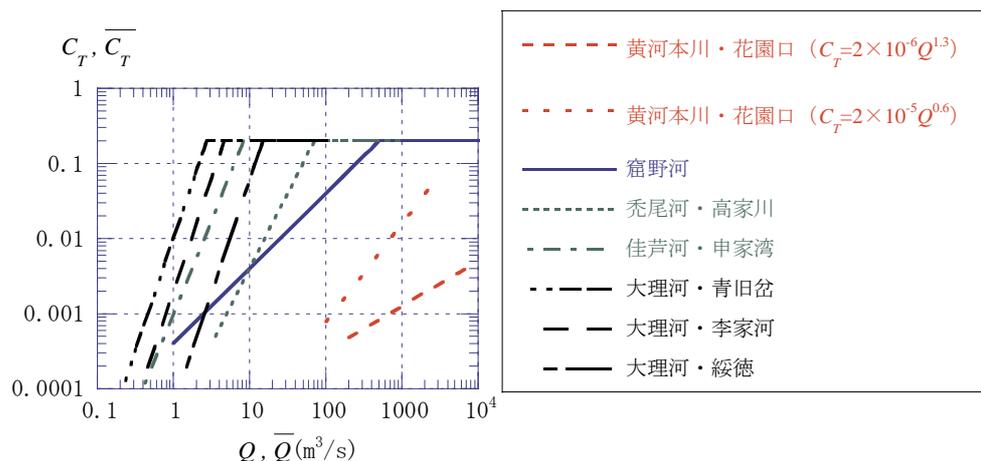


Fig.3.4.8 観測資料より得られた流砂濃度と流量との経験式

以上の結果、窟野河と秃尾河、佳芦河とは土砂の輸送特性が異なることが推定される。これは、洪水流中の流砂の粒径が、窟野河では比較的粗粒で $d=0.01 \sim 0.5$ mm であるのに対し、秃尾河、

佳芦河では比較的細粒で、それぞれ $d=0.01\sim 0.05\text{mm}$, $0.005\sim 0.05\text{mm}$ となるためと考えられる。

大理河のデータは日平均化されたものであるので、他の河川と直接比較することはできないが、流れの特性が、窟野河とは異なり、禿尾河や佳芦河に近いものと推測される。

流砂濃度が 0.2 以下の領域では、いずれの経験式も $C_T = \cdot Q^n$ で表され、対象河川が南になるほど n の値が大きくなっていることが分かる。以上の経験式を比較したものが Fig.3.4.8 である。図中には、黄河本川の花園口における観測データ(芦田[1989])の経験式も示している。これらの経験式により、観測点における流量が分かれば、流砂量を大略予測可能となる。

D. 高濃度洪水の抵抗と流砂量則

土砂流出の正確な予測を行うためには、河道における高濃度洪水の抵抗と流砂量則を解明する必要がある。高濃度洪水は土砂を高濃度に含有するため、抵抗則などの流れ特性を変化させる。従って、高濃度洪水の抵抗と流砂量則の解明は長年の課題となっている。ここでは、既往のモデルとして、泥流型土石流に対して提案された流動モデル(泥流型土石流モデル)と、ニュートン流体の見かけ粘性係数が流砂濃度により変化するものとするニュートン流体モデルとを取り上げ、その適合性を検討することとする。

(a) 流動モデル

a) 泥流型土石流モデル

乱流化した土石流すなわち泥流型土石流に対して提案されたモデルである。

橋本・平野(1995), Hashimoto・Hirano (1997), 橋本(2001)は底面近傍には粒子間応力が卓越する粒子間力層が、その上にはレイノルズ応力の卓越した慣性力層がそれぞれ存在するとして 2 層構造モデルを提案し、流れを規定する無次元水深 $N_h = \frac{h}{d} \sqrt{\frac{\rho_l}{\sigma F(C_T)}}$ を導入した。ここに、

$F(C_T)$ は C_T の関数である。抵抗則は

$N_h \leq 15$ の場合

$$\frac{v}{u_*} = \sqrt{\frac{8}{f}} = \frac{1}{2} \frac{\xi}{\sqrt{K_{zx}}} N_h \quad (2)$$

$N_h \geq 15$ の場合

$$\frac{v}{u_*} = \sqrt{\frac{8}{f}} = \frac{15}{2} \frac{\xi}{\sqrt{K_{zx}}} \frac{15}{N_h} + \left(\frac{u_\delta}{u_*} - \frac{1}{\kappa} \right) \left(1 - \frac{15}{N_h} \right) - \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{15}{N_h} \right) \quad (3)$$

となる。また、2 層構造モデルから広範な流砂形態に適用可能な流砂量式が次のように得られる(橋本・朴・池松・田崎[2003], Hashimoto・Takaoka・Park[2004])。

$$\frac{q_s}{\sqrt{s}gd^3} = \frac{\bar{u}_\delta}{u_*} \tau_*^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right) \frac{1}{(\alpha - I_f) \cos \theta} G \left(I_f, \frac{h}{d}, \frac{w_0}{u_*} \right) \quad (4)$$

ここに、 s : 粒子比重, d : 粒径, g : 重力加速度, τ_* : 無次元掃流力, I_f : エネルギー勾配であり, w_0 : 粒子の沈降速度で Rubey の沈降速度式。また, $\cdot = 0.875$, $\bar{u}_\delta/u_* = 4.7$ である。また G は $I_f, h/d, w_0/u_*$ の関数である(平野・橋本・多川[1998])。

b) ニュートン流体モデル

流砂濃度による抵抗則の変化を見かけの粘性係数の変化として説明するモデルである。その評価式としては高濃度の領域に適用可能な森・乙武の相対粘度式を用いる。すなわち、相対粘度 η_r の評価式は、流砂濃度 C_T の関数として

$$\eta_r = 1 + \frac{3}{(1/C_T - 1/0.52)} \quad (5)$$

である。ここに、 ν_0 : 水の粘性係数として、粘性係数 ν である。

さてニュートン流体の抵抗則は、 $\frac{vh}{\nu} \lesssim 500$ (層流) の場合

$$\frac{\nu}{u_*} = \sqrt{\frac{8}{f}} = \sqrt{\frac{vh}{3\nu}} \quad (6)$$

ここに ν : 流体粘性係数として $\nu = \nu_t$ である。さらに $\frac{vh}{\nu} \gtrsim 500$ (乱流) の場合、底面の粗・滑条件により

それぞれ

$$\text{(滑面)} \quad \frac{\nu}{u_*} = \sqrt{\frac{8}{f}} = 5.5 - \frac{1}{\kappa} + \frac{2.3}{\kappa} \log_{10} \left(\frac{vh}{\nu} \sqrt{\frac{f}{8}} \right) \quad (7)$$

$$\text{(完全粗面)} \quad \frac{\nu}{u_*} = \sqrt{\frac{8}{f}} = 8.5 - \frac{1}{\kappa} + \frac{2.3}{\kappa} \log_{10} \left(\frac{vh}{\nu} \sqrt{\frac{f}{8}} \frac{u_* k_s}{\nu} \right) \quad (8)$$

となる。ここに、 k_s : 相当粗度である。式(8)は粗さのレイノルズ数 $u_* k_s / \nu$ がパラメータとなっている。

(b) 高濃度流れの水路実験

黄河中流域の河道堆積土砂はシルト、微細砂、細砂であり、これらを用いて、高濃度洪水を実験水路に再現し、その抵抗と流砂量について調べる。

実験に使用した水路は、全長 7.0m、幅 15cm の両側アクリルライト製の水路である (Fig.3.4.9)。水路勾配 θ は 3° とした。水路底面にはベニヤ板を貼り滑面固定床とした。下流端のタンクは直径 136cm、高さ 80cm である。タンク中の土砂と水は攪拌機であらかじめ攪拌し、ポンプで水路上流端に送り循環させている (Photo.3.4.1)。

実験では、ピトー管を下流端から 1.43m の地点に設置して流速分布を測定した。また下流端から 1.5m の地点に設置したポイントゲージを用いて水深を測定した。次に、所定の時間間隔で流れを採取し、単位幅流量 q_b 、流砂濃度 C_T を測定した。これらの測定値を用いて摩擦損失係数を求めた。

(c) 流動モデルと現地観測・水路実験結果との比較

Fig.3.4.10 は摩擦損失係数 f と流砂濃度 C_T との関係を示したものである。窟野河では $f=0.001 \sim 0.027$ 、禿尾河で

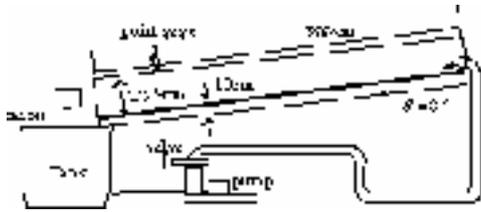


Fig.3.4.9 循環水路



Photo. 3.4.1 循環水路における実験状況

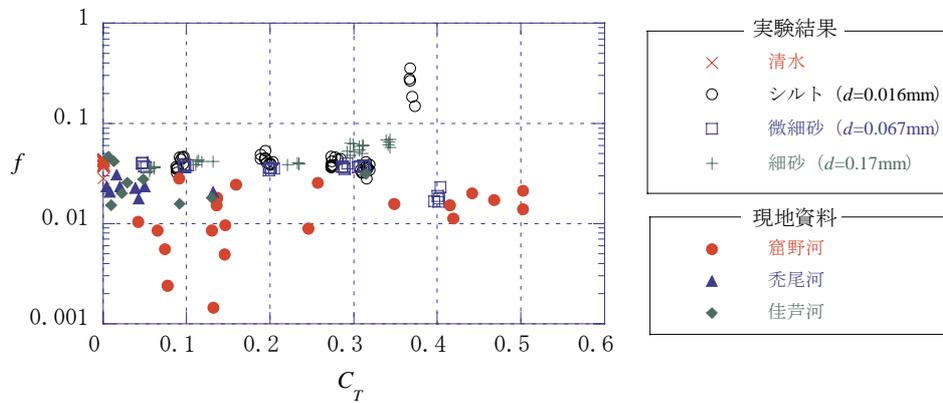


Fig.3.4.10 現地資料と実験結果における摩擦損失係数と土砂輸送濃度の関

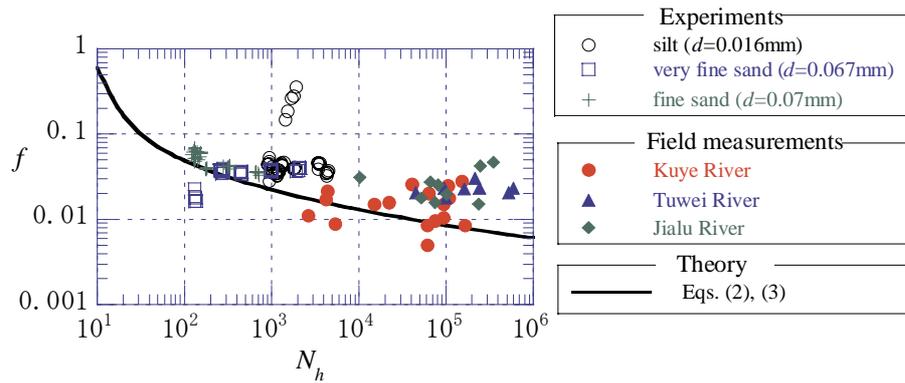


Fig.3.4.11 摩擦損失係数と無次元水深の関係 (泥流型土石流モデル)

は $f=0.018\sim0.031$, 佳芦河では $f=0.015\sim0.047$ となっている. 水路実験では, 多くは $f=0.02\sim0.07$ となっている. 現地観測データの方が水路実験値に比べてかなり小さな値を示している. 特に, 窟野河のデータはかなり小さくなっていることが分かる.

Fig.3.4.11 は、摩擦損失係数 f と泥流型土石流モデルに基づく無次元水深 N_h との関係を示した結果である。無次元水深 N_h の値は、現地では 10^5 前後となるのに対して水路実験では 10^3 前後であ

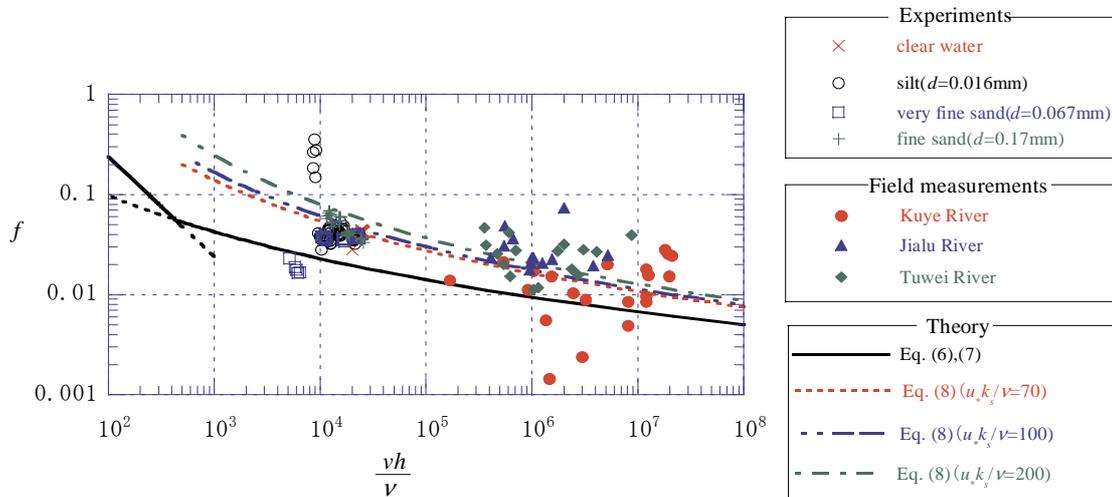


Fig.3.4.12 摩擦損失係数とレイノルズ数の関係 (ニュートン流体モデル)

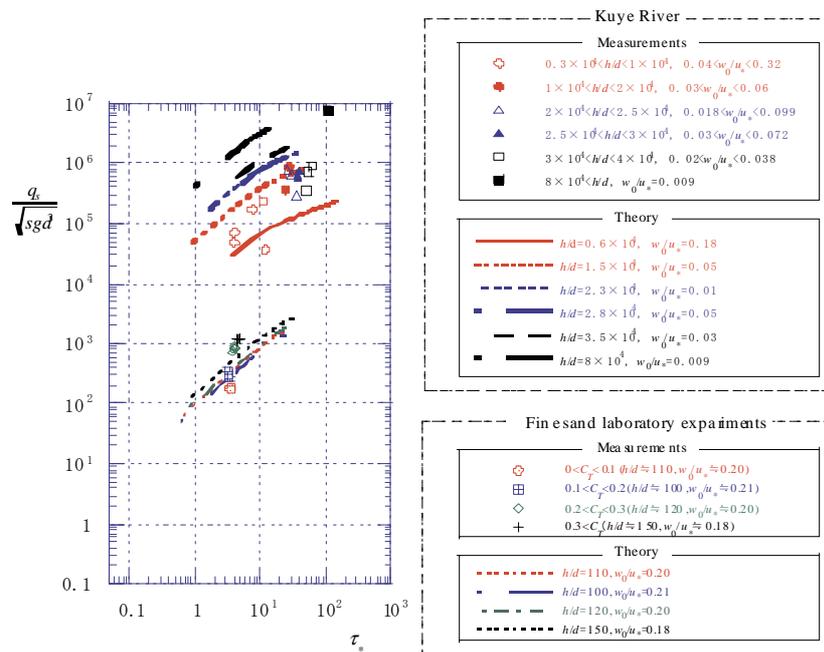


Fig.3.4.13 無次元流砂量と無次元掃流力との関係(窟野河)

る。摩擦損失係数の現地と水路実験との顕著な差異はこの無次元水深 N_h の差異に起因していることが分かる。細砂の実験結果および窟野河の観測データは泥流型土石流モデルの理論式(2), (3)とほぼ一致しているが、他の水路実験結果および秃尾河、佳芦河のデータはその理論式とは異なっている。これは、窟野河の洪水流が泥流型土石流モデルにより説明できるのに対して、秃尾河、

佳芦河のそれは泥流型土石流モデルでは説明できないことを示している。これは、窟野河の洪水流の流砂が比較的粗粒であるのに対して、禿尾河、佳芦河のそれは細粒であることに起因している。

Fig.3.4.12 は、摩擦損失係数とレイノルズ数との関係を示している。また、図中の曲線はニュートン流体モデルの理論式(6), (7), (8)である。実験結果のレイノルズ数は、 10^4 前後であるのに対し、現地資料のそれは $10^5 \sim 10^7$ の範囲である。現地資料は、データのばらつきが大きい、完全粗面の理論式(8)により説明できることが分かる。

Fig.3.4.13 は、窟野河の洪水流および細砂を用いた水路実験結果について、無次元流砂量と無次元掃流力との関係を示したものである。図中の曲線は泥流型土石流モデルに基づく流砂量式(4)の計算結果である。現地資料(窟野河)は、無次元流砂量 $q_s / \sqrt{sgd^3} = 10^5$ 、無次元掃流力 $\cdot_* = 10$ 、相対水深 $h/d = 10^4$ 、粒子沈降速度・摩擦速度比 $w_0/u_* = 10^{-2}$ のオーダーの範囲であるのに対して、水路実験データは、無次元流砂量 $q_s / \sqrt{sgd^3} = 10^2$ 、無次元掃流力 $\cdot_* = 1$ 、相対水深 $h/d = 10^2$ 、粒子沈降速度・摩擦速度比 $w_0/u_* = 10^{-1}$ のオーダーの範囲である。それらは大きく異なったオーダーの値を示しているものの、理論式(4)と現地観測・水路実験結果とは良好に適合していることが分かる。

以上により、窟野河および細砂を用いた水路実験については泥流型土石流モデルにより流れの抵抗と流砂量が良好に説明され、大理河、禿尾河、佳芦河およびシルト・微細砂を用いた水路実験については、その抵抗はニュートン流体モデルにより、流砂量は流量との関係式により示されることが明らかになった。

(d) 流出解析と河床変動シミュレーション

貯留関数法により流出解析を行い洪水 1 波形毎にパラメータ k_1, k_2 同定を行った(Fig.3.4.14)。その結果、雨量の精度が悪くバラツキが大きい、パラメータは $k_1 = 0.01 \sim 6$, $k_2 = 0.4 \sim 65$ となり、平均的には $k_1 = 1.4$, $k_2 = 17.8$ となった。以上の結果から、水理・水文観測点において流量ハイドログラフを求めることができる。

さらに、窟野河について、河川断面を長方形とし、流れを等流と仮定して、土砂流出量の評価について検討した。ここに、摩擦損失係数は泥流型土石流に対して提案されている式(2), (3)を、流砂量式としては、広範な流砂形態に適用可能な流砂量式(4)をそれぞれ用いた。土砂流出量の計算値と観測値とを比較すると、両者は比較的一致していることが分かった(Fig.3.4.15)。そのため流量ハイドログラフが与えられれば土砂流出量の評価が可能となった。

次に、窟野河の神木～温家川の区間を対象として河床変動シミュレーションを行った。計算対象時間は 1979 年 8 月 7 日～8 月 14 日である。基礎式は、運動方程式、全相連続式、固相連続式である。境界条件として、神木における観測点の観測流量、流砂量を与える。温家川における流量、流砂量の計算値と観測値を比較した結果、両者はよく一致していることが分かった(Fig.3.4.16, 17)。従って、水理・水文観測点における洪水流量と流砂量を境界条件として河床変動シミュレー

シオンを行うと、観測点間の任意の地点における洪水流量と流砂量を良好に推測できることが分かった。

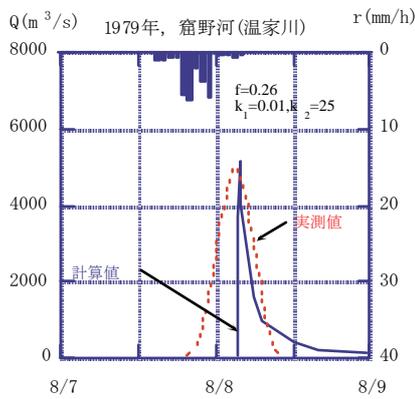


Fig.3.4.15 流量の実測値と計算

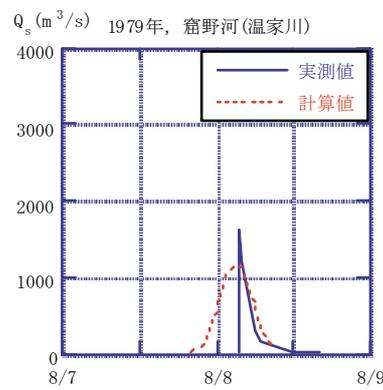


Fig.3.4.16 流砂量の実測値と計算

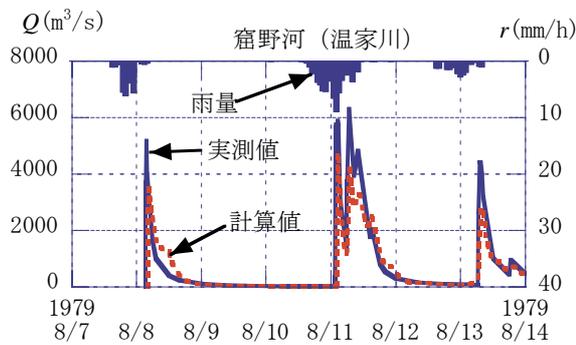


Fig.3.4.16 流量の計算値と実測値との比較

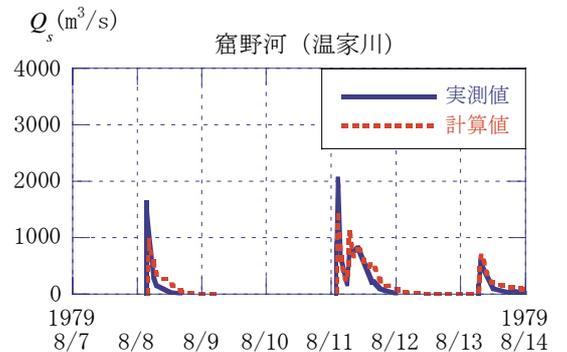


Fig.3.4.17 流砂量の計算値と実測値との比較

4) 結論

本研究において得られた結果は以下の通りである。

- ①黄河中流支川の窟野河, 秃尾河, 佳芦河流域について水理・水文観測点における雨量, 流量の観測値を用いて流出係数を算出した. その結果, 流出係数は $f_0=0.05\sim0.62$, ピーク流出係数は $f_p=0.05\sim1.57$ となることが分かった.
- ②窟野河の河道は主に微細砂〜粗砂であり, 大理河の河道はシルト, 微細砂であることが明らかになった.
- ③材料としてシルト, 微細砂, 細砂をそれぞれ含有した高濃度洪水を実験水路において発生・流下させて抵抗則, 流砂量を調べた. その結果, 材料が細砂の場合には, 泥流型土石流モデルが流れの抵抗と流砂量を説明することが分かった. 一方, 材料がシルト, 微細砂の場合には, ニュートン流体モデルが流れの抵抗則を説明することが分かった.
- ④窟野河における流砂量と流れの抵抗に対しては泥流型土石流モデルが適合することが明らかになった.
- ⑤秃尾河, 佳芦河, 大理河における流砂量と流れの抵抗に対しては, 泥流型土石流モデルが適合

しないことが分かった。流れの抵抗についてはニュートン流体モデルが適用され、流砂量については経験式を用いることが提案された。

⑥観測雨量と流量を用いて貯留関数法による水文観測点での流出解析を行い、パラメータ同定を行った。その結果、水文観測点での流出予測が可能となった。また、上述で解明された抵抗則と流砂量式を用いて流砂量ハイドログラフを求めた。その結果は実測値と概ね一致することが分かった。さらに、観測点の流量ハイドログラフを境界条件とした河床変動シミュレーションを行うことにより、観測点間の任意の地点における流量、流砂量ハイドログラフを予測することができた。

(2)研究成果の今後期待される効果

観測点の流量ハイドログラフを境界条件とした河床変動シミュレーションを行うことにより、観測点間の任意の地点における流量、流砂量ハイドログラフを予測することができるようになったので、土砂発生量が推定されるとこれをもとに土砂輸送量が得られ、河床変動の3次元化へと展開できるようになる。

3.5 流出・水資源モデルI (清華大学水利水電工程系 楊大文教授グループ)

(1)研究実施内容及び成果

1) 研究目標

黄河流域の水収支を理解、過去の水循環と水資源の状況、気候や人工活動の影響を把握、及び未来の水循環の変動性を予測する。

2) 研究手法

Fig.3.5.1 のように3種の研究手法を考える。

- (a) データを分析し、黄河流域の水循環と水資源の全体像を理解する。
- (b) 分布型水循環モデルを構築し、過去50年間(1951-2000)の水循環を再現し、過去の水循環と水資源の時間、空間分布を分析、自然流出量の変動性及び原因を明らかにする。
- (c) 地球温暖化のシナリオを用いて、黄河流域未来の水循環及び水資源の変動性を予測する。

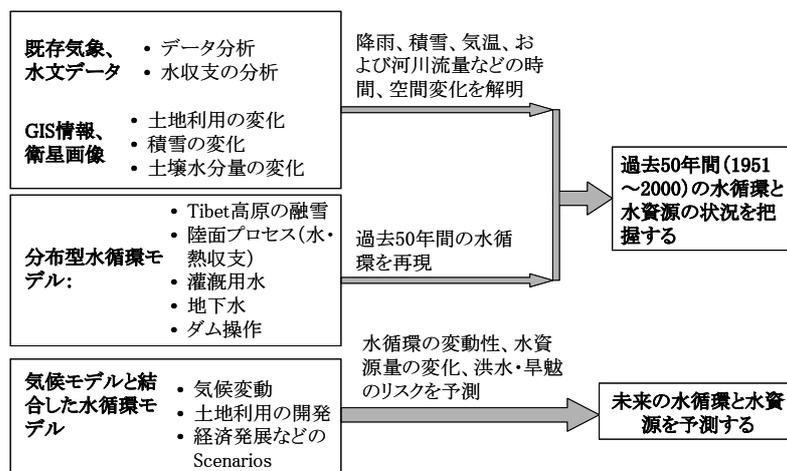


Fig.3.5.1:研究構成

3) 研究成果

A. 必要な基本データの整備

流出計算に必要な基本データである標高値、土地利用、土壌等地理情報、気象、水文、灌漑面積、灌漑用水量をデータベース化した。さらに、黄河全流域の長期気象データを整理するとともに、これを用いて流域の降水量、可能蒸発散量の空間分布を推定し 10km メッシュデータを整備した。

Table 3.5.1:集積したデータ

データ名	データの内容	
1. 地理情報	数字標高	解像度 1000m と 90m の全流域の標高データ
	土地利用	解像度 1000m の全流域の土地利用データ:USGS と CAS
	土壌	解像度 5000m の全流域の土壌分布データ、及び各土壌生類の水分パラメータ
2. 気象情報	降雨	120ヶ所 50年間(1951~2000年)の日降雨量データ
	気温	120ヶ所 50年間(1951~2000年)の日平均、最大、最低気温データ
	風速	120ヶ所 50年間(1951~2000年)の日平均風速データ
	日射	120ヶ所 50年間(1951~2000年)の日射時間データ
	湿度	120ヶ所 50年間(1951~2000年)の日平均湿度データ
	蒸発	120ヶ所 50年間(1951~2000年)の日パン蒸発量データ
3. 水文情報	流量	10ヶ所 50年間(1951~2000年)の日平均流量データ 10ヶ所 50年間(1951~2000年)の月平均流量データ
	4. 灌漑情報	灌漑面積
灌漑水量		全流域各年の灌漑用水量データ

B. データを分析した黄河流域の水循環と水資源の全体像

収集した過去 50 年間の気象データ、河川流量、灌漑用水等を用いて、水資源量の長期変動、及び断流の原因を分析した。気候変化と人工取水量の増加が、河川流量減少の原因であること；20 世紀 90 年代に断流が頻発した原因は、気候変動(或いは降水の減少と気温の増加)であることが明らかになった。

(a) Fig.3.5.2 に示すように、流域平均の年間降水量が減少(50 年間に 43.5mm)、年間平均気温が上昇(50 年間に 1.28℃)、本流の河川流量が減少する傾向のあることが判明した。気温増上昇にと
もなうパン蒸発量は 1970s~1985 に減少し、1985 年後増加することが解った。

(b) 水資源空間分布は表 3.5.2 に示すように、蘭州までの上流域は主な水源地であり、蘭州~頭道拐の区間流域は乾燥/半乾燥地域で水資源の純消費地区であり、頭道拐~龍門の区間では黄土高原で流出量が少なく、龍門~三門峡の区間では渭河と汾河の二大支流があるが流出量は多くなく、三門峡~花園口の区間では面積が小さく、しかも流出は夏季の洪水期に多く、花園口~利津区間は天井川であり、灌漑用水が多くなっている。

(c) Table 3.5.2,3 に示した黄河流域の降水量、気温、灌漑用水の変動と断流の関係を分析した。断流の原因として、灌漑用水の増加が主なものであるが、1990 年代に断流が頻発した主な原因は気候変動であることを明らかにした。

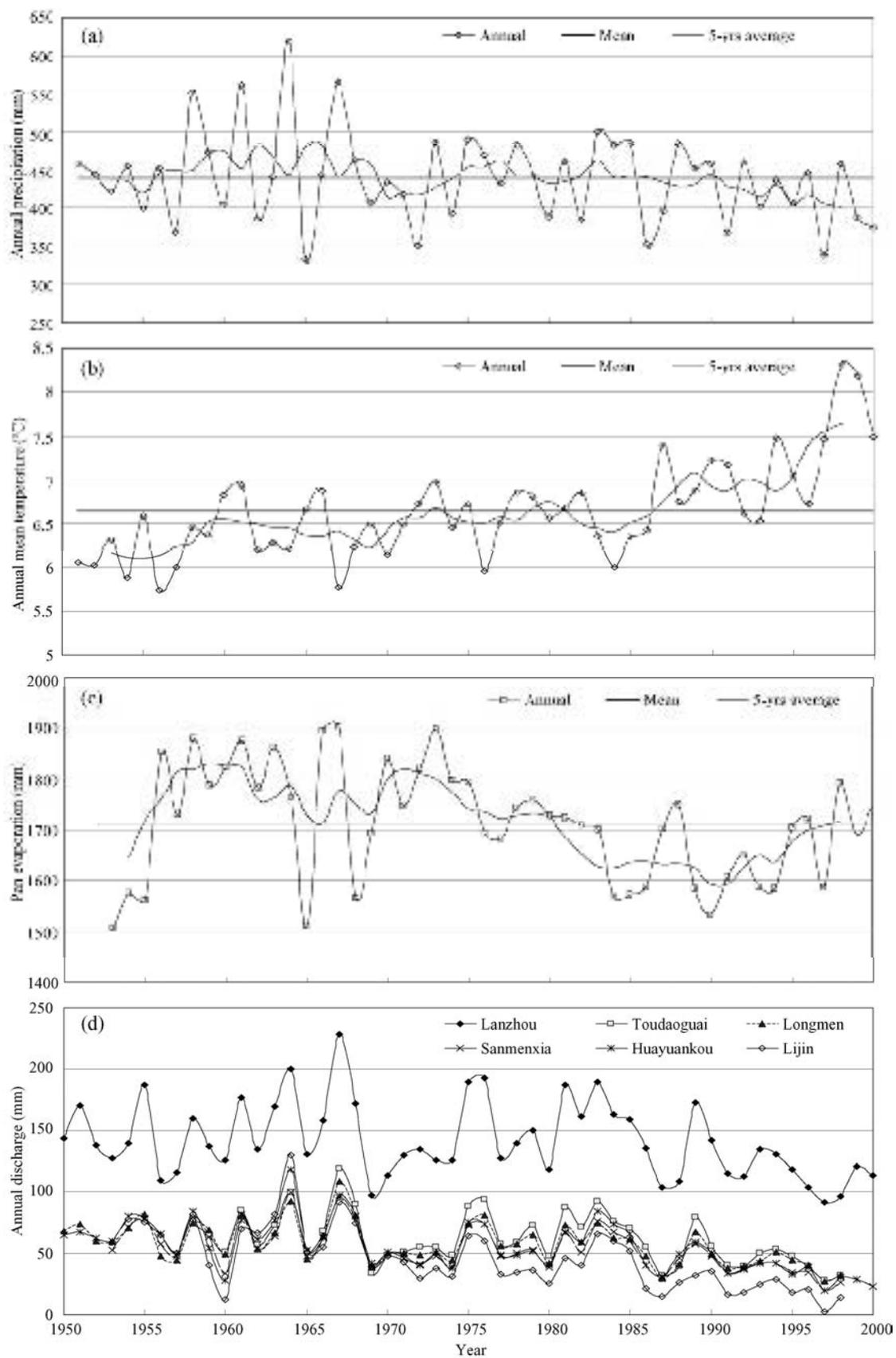


Fig.3.5.2:(a)年降水量, (b)平均気温, (c)パン蒸発量, (d)流出量の年変動

Table 3.5.2: 各区間の 50 年間の平均流出量(mm/year)

区間	蘭州までの 上流域 (I)	蘭州～頭 道拐の区 間流域 (II)	頭道拐～ 龍門の区 間流域 (III)	龍門～三 門峽の区 間流域 (IV)	三門峽～ 花園口の 区間流域 (V)	花園口～ 利津の区 間 (VI)
面積 (km ²)	222,551	145,347	129,654	190,869	41,615	21,833
降水量 (mm)	446.5	263.5	420.2	548.3	630.8	--
流出量 (mm)	140	-63	42	42	82	-324
灌漑面積 (万 ha)	7.3	116.1	15.2	208.8	7.6	358.0

Table 3.5.3: 10 年平均降水、河川流出、気温とパン蒸発量

年代	蘭州の上流				全流域				利津観測 点の流量 (mm/yr)
	Q (mm/yr)	P (mm/yr)	T (°C)	E_{pan} (mm/yr)	Q (mm/yr)	P (mm/yr)	T (°C)	E_{pan} (mm/yr)	
1951~60	140.3	424.6	1.91	1521	62	444.0	6.22	1731	58.3
1961~70	158.0	459.5	2.19	1410	71.7	465.9	6.38	1756	70.2
1971~80	143.1	456.0	2.57	1383	51.1	436.3	6.61	1763	39.2
1981~90	152.2	470.0	2.62	1301	57.6	446.6	6.69	1630	39.0
1991~00	113.5	434.7	3.12	1377	32.5	408.4	7.31	1682	17.9

Q : annual river discharge; P : annual precipitation; T : annual mean temperature; E_{pan} : annual pan evaporation

Table 3.5.4: 灌漑用水量の年変化 (unit: $\times 10^8$ m³/yr)

年代	1951-60	1961-70	1971-80	1981-90	1991-00
花園口の上流	108.3	136.6	158.7	183.2	189.4
花園口の下流	47.1	26.2	83.0	110.7	95.4
全流域	155.4	162.8	241.7	293.9	284.8
灌漑用水量と自然 流出量の比(%)	21.0	23.6	45.1	50.1	68.0

Table 3.5.5: 河川流出量の年変化と断流の関係

年代変化	断流日数	流出の変化 (mm/10yrs)		灌漑用水の変化 (mm/10yrs)		P (mm/10 -yrs)	T (°C/10 -yrs)	E_{pan} (mm/10 -yrs)
		利津	花園口	全流域	花園口 の上流			
1960s - 1950s	0	11.9	9.7	1.0	3.9	22.0	0.16	25
970s - 1960s	94	-31.0	-20.6	10.5	3.0	-29.6	0.23	7
1980s - 1970s	3	-0.2	6.5	6.9	3.4	10.3	0.08	-133
1990s - 1980s	804	-21.1	-25.1	-1.2	0.8	-38.2	0.62	52

C. GBHM2 分布型流出モデルの開発、過去 50 年間の自然流出のシミュレーション

自然流出をシミュレーションするために、10km メッシュの分布型流出モデルを開発した、そして人工系水循環を組み入れ、大型灌区の灌漑用水のシミュレーションを可能にした。これと整備されたデータを用いて過去 50 年間の水循環をシミュレーションし、水利用・水不足の実態を分析した。その結果、黄河の断流は水使用量の増加だけでなく年間降水量の減少にもよることを明らかにした。

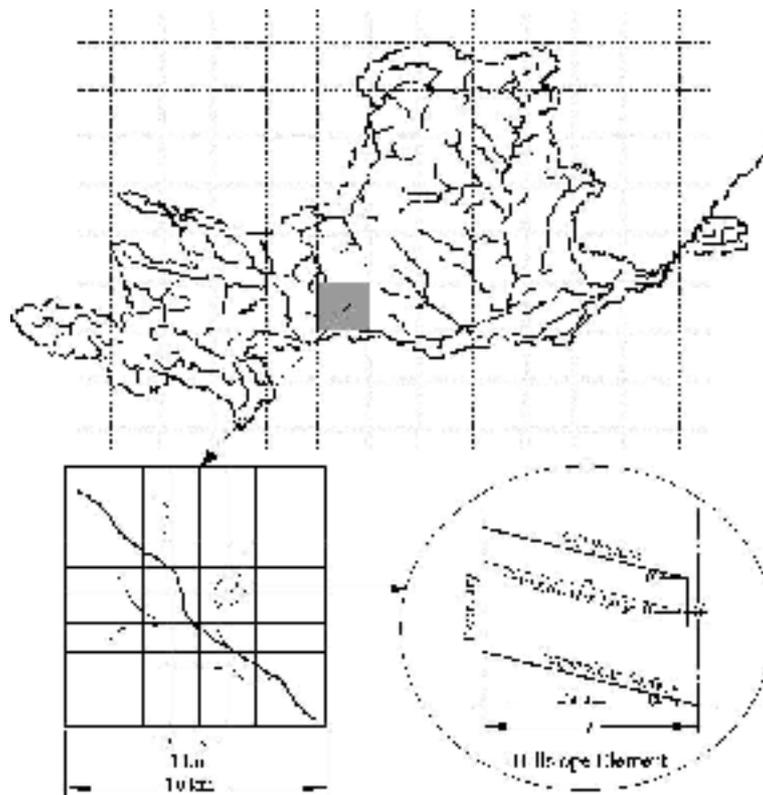


Fig.3.5.3: 10-km グリッド単位の分布型水循環モデル

(a) 自然流出のシミュレーション

開発したモデルを用いて、過去 50 年間の自然流出量をシミュレーションした。モデルの検証のために、人為活動の影響が少ない上流域で計算結果と観測流量を比較したものを図 3.5.4 に示す。

上流域と中流域の気候や地形などの条件の大きい違いがあり、単に一箇所の検証では不十分であることから推定結果の不確実性を分析した。そして、中国水利部門の雨量データを集積し、中流域でも検証した(図 3.5.5 と 3.5.6)。

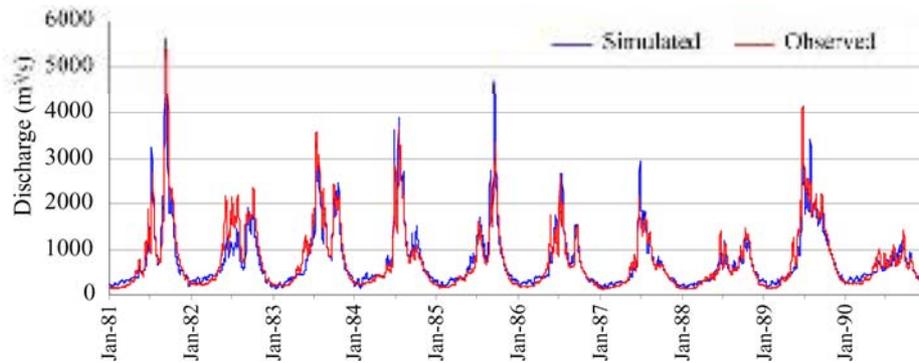


Fig.3.5.4: 自然流出量のシミュレーション結果(唐乃亥水文観測点、流域面積: 121,972 km²)

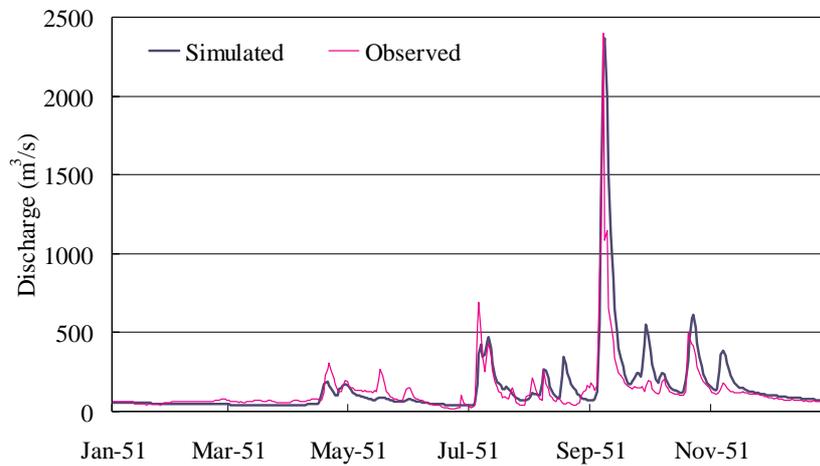


Fig.3.5.5: 自然流出量のシミュレーション結果(渭河咸陽観測点、流域面積:46827km²)

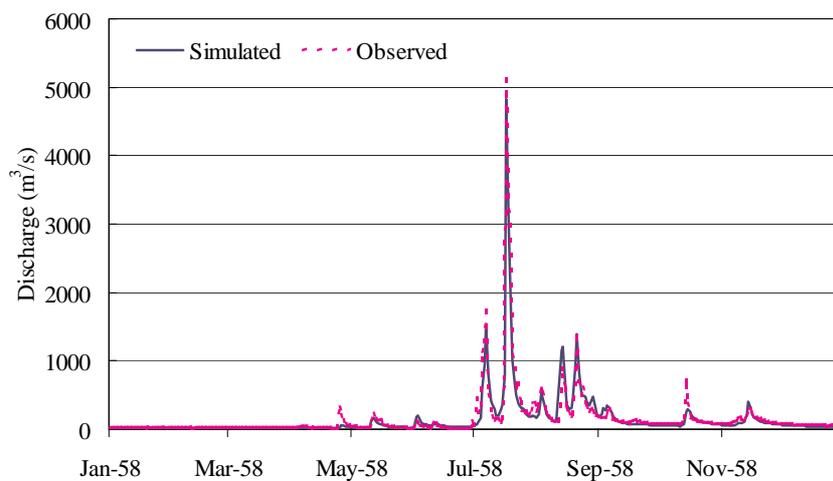
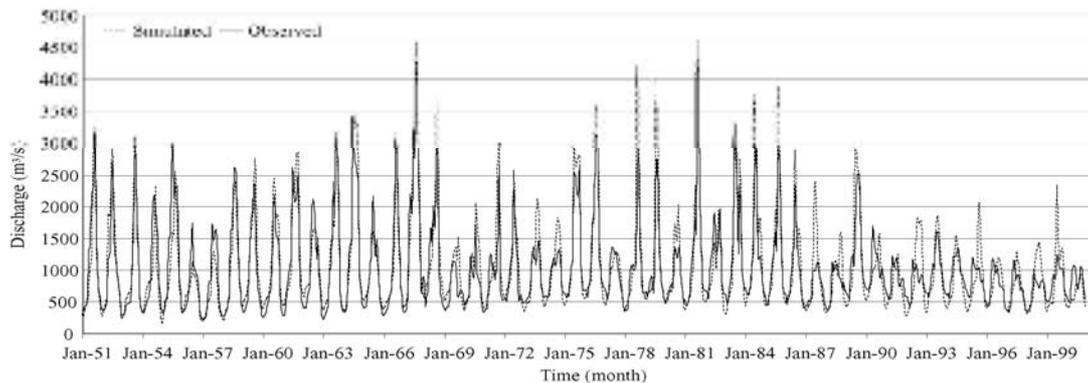


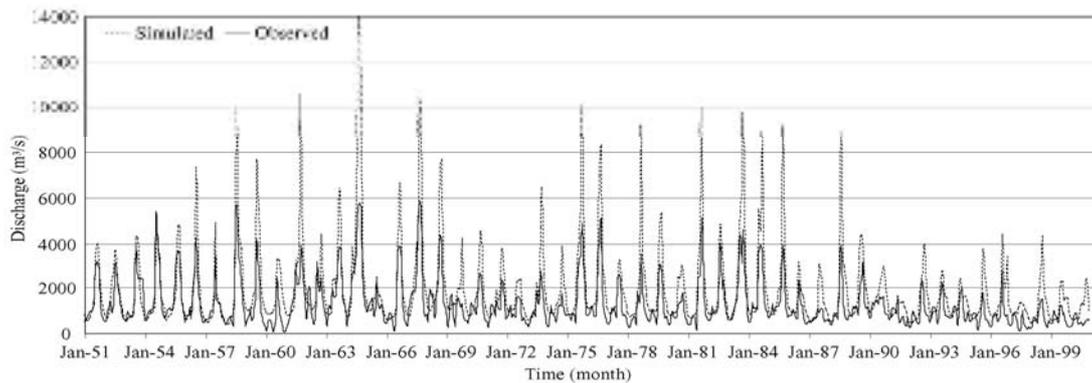
Fig.3.5.6: 自然流出量のシミュレーション結果(洛河白馬寺観測点、流域面積: 11891km²)

(b)シミュレーション結果による流域水資源の分析

検証したモデルを用いて、過去 50 年間 (1951~2000) の自然流出をシミュレーションした。Fig.3.5.7a(蘭州観測点)と 7b(花園口観測点)にある、計算した自然流出量と観測データを比較した。50 年代に計算結果と観測流量を良く合うことと以後の観測数値が計算数値より小さいことがわかった。その原因は、人為的な影響は 1960 年代から多くなったことによる。シミュレーションより推定した自然流出量と観測流量の差は、消費されたと考えられる。黄河断流の原因を分析した結果を Table 3.5.6 に示した。断流は消費された水量が多くなったことと降雨減少に伴う自然流出量の減少が大きくし寄与したことが明らかになった。



(a) Lanzhou



(b) Huayuankou

Fig.3.5.7: 計算した自然流出量と観測流量の比較:(a)蘭州観測点;(b)花園口観測点

Table 3.5.6: 黄河流域水資源変化と断流の関係

	1950s	1960s	1970s	1980s	1990s
年間降水量(mm/yr)	440.2	466.0	436.3	446.6	408.5
年間平均気温(°C)	6.22	6.38	6.61	6.69	7.31
自然流出量($\times 10^8$ m ³ /yr)	572.3	763.8	607.1	648.5	407.8
実際蒸発散量(mm/yr)	347.0	367.7	360.3	361.8	359.5
人工消費量($\times 10^8$ m ³ /yr)	134.0	236.4	312.4	355.1	273.4
人工用水量と自然流出量の比(%)	23.4	30.9	51.5	54.8	67.1
断流日数	0	0	94	97	901

(c) 灌漑用水のシミュレーション

ダム操作、灌漑用水を含めた分布型モデルを用いて、大型灌区の灌漑用水量をシミュレーションした。その結果を Fig.3.5.8 に示す。1981～2000 年の 20 年間の平均を見ると、青銅峡灌区での計算された灌漑水量は 24.4 億 m^3 、統計データから推定した灌漑水量は 25.6 億 m^3 ；河套灌区の計算値は 39 億 m^3 、統計データでは 32 億 m^3 である。灌漑用水の空間分布は、乾燥半乾燥地域（内蒙古自治区と寧夏自治区）の年間灌漑水量が 700mm 以上である渭河と汾河の平野部では少なくなっている。

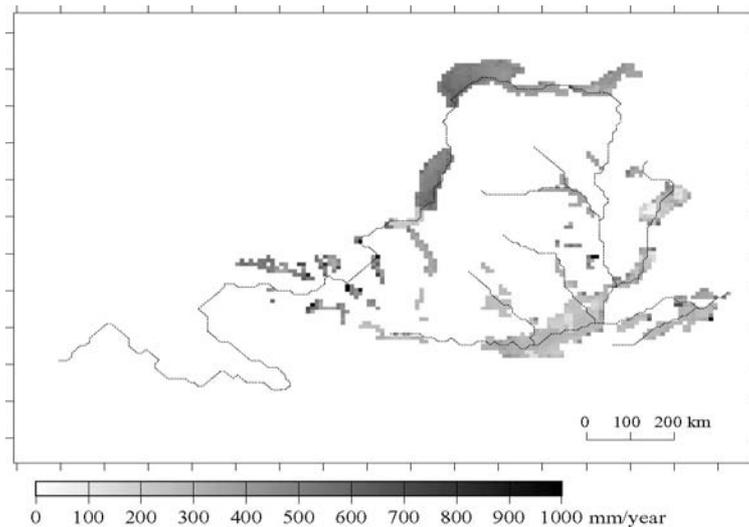


Fig.3.5.8:シミュレーションによる灌漑用水量の空間分布 (1981～2000 年の平均値)

4) 考察・結論

(a) 黄河流域 50 年間 (1951～2000 年) の平均降水量は 435mm/yr、平均蒸発散量は 360mm/yr、流出量は 75mm/yr。蘭州の上流域の面積は全流域の 1/3 で、流出量は全流域の 6 割になる。黄河流域の水源地保全及び全流域用水安全性に最も重要なところは蘭州の上流域——チベット高原である。

(b) 1970 年代に黄河自然流出量の 51.5%が人為により消費された、1980 年代は 54.8%、1990 年代は 67.1%であった。そのうち灌漑用水は 80～90%を占める。黄河断流の基本的原因は灌漑用水の増加によることはいままでもない。

(c) 黄河流域水循環の変動特性を検討した結果、降水量の減少と平均気温の増加が自然流量の減少に影響することがわかった。但し、気温増加に伴うパン蒸発量は 1970s～1985 に減少、そして 1985 年後増加したことから、水循環変動は大きく変動していることが分かった。パン蒸発量の減少に伴う蒸発散量も減少することは従来の蒸発理論から知られているが、最近の補完関係蒸発理論とは異なっている。

黄河及び海河流域の 108 支流流域の年間水収支を分析した結果、実際の蒸発散量と可能蒸発量の関係は補完関係にあることが分かった (図 3.5.9)。そして、パン蒸発量の減少に伴う、実際蒸発散量は上昇することを確認した。(Yang, D., F. Sun, Z. Liu, Z. Cong, and Z. Lei (2006), Interpreting the complementary relationship in non-humid environments based on the Budyko and

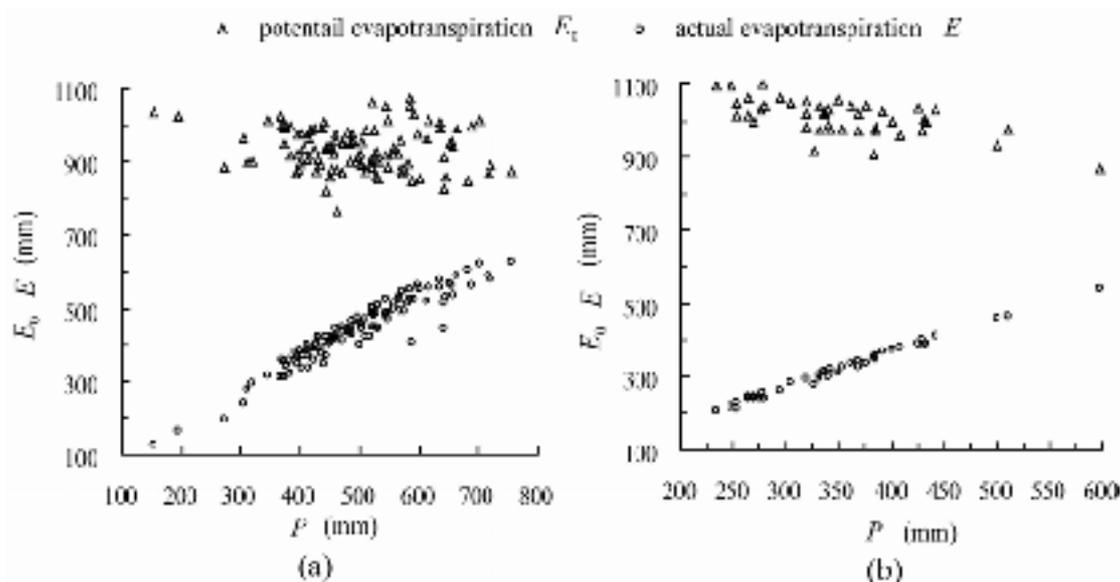


Fig.3.5.9: 実際の蒸発散量と可能蒸発量の補完関係:(a)黄河及び海河流域の108支流域, 1951～2000年の平均;(b)黄河流域の赵石窟子流域(黄土高原), 1951～2000年

(d)断流の原因として、灌漑用水の増加が主な原因であるが、1990年代に断流を悪化させた主原因は気候変動であることがわかった。地球温暖化の影響を考えると、将来の水資源不足の傾向はもっと厳しくなると推定された。

(2)研究成果の今後期待される効果

かなりの精度で、黄河流域の水文現象を推定できるようになったので、将来の水資源配分等の問題に対し、本モデルを有効に活用できる。このモデルが中国にて広く使われるようになり、水資源配分問題、水利用方式の検討に有効な判断資料を提供できるようになる。

3.6 流出・水資源モデルII(山梨大学総合医工学研究科 竹内邦良教授グループ)

(1)研究実施内容及び成果

山梨大学では、大別して1)水文流出と、2)土砂生産・輸送の2つに関して黄河流域を対象とした数値プログラムを開発し、それらを用いたシミュレーションを行い、その解析を行った。以下に成果を述べる。

1)水文流出

A. モデル開発

本研究課題で新たに開発した水文流出モデルYHyMについて述べる。YHyMは富士川などを対象にこれまで開発されてきた分布型流出モデルであるBTOPMCモデルを基礎とし、長期シミュレーションを行うために必要な要素を開発・追加した分布型水文モデルの総称である。

流域内の流出発生と河道における流下計算に関してはBTOPMCのプログラムコードを活用したが、衛星観測データなどの外部データを取り込み、既存のモデルにはなかったいくつかのサブモデルを新たに開発し、追加することで黄河流域における水文流出シミュレーションを適切に行えることを可能にした。なかでも可能蒸発散量サブモデルと、積雪・融雪サブモデルについては、黄河のような1)大河川流域に適用可能であり、2)得られる衛星観測データを活用することで黄河の上流域など観測が不足する地域へも適用可能である、という2点が従来の研究と比べての顕著な進歩である。以下には B TOPMC の概要とその改良、ならびに新しい流出過程サブモデルの開発について述べる。

(a) B TOPMC モデル(流出発生・流下サブモデル)

B TOPMC モデルは TOPMODEL を基礎とする流出発生モデルと Muskingum-Cunge 法にもとづく流下モデルの2つにより構成される。前者の流出発生機構(水収支)では、モデルの各グリッド格子毎に TOPMODEL 式にて算定するグリッド単位 TOPMODEL である。グリッドごとの標高値(Digital Elevation Model: DEM)から作成した地形指標パラメータを与えることにより、地点ごとの河川流出発生量と飽和不足分とを概念的に関係づけて地下水流出量及び表面流出量を算定する。各グリッドでは、土壌層として根層、根を含まない不飽和層、飽和層の3層を考慮し、層の深さはグリッドごとの地質・土地利用により異なる。各グリッドからの実蒸発散量は、外部から与えられる月平均の可能蒸発散量と、根層・不飽和層貯留量に応じて計算され、毎時間ステップごとに算定されてグリッドの貯水量から減じられる。なお、植物体からの蒸散はモデルの計算過程で陽的には扱っていないが、以下で述べる可能蒸発散量推定モジュールにおいて月平均での可能蒸発散量、つまり月平均の蒸散の上限値として考慮されている。後者の流下モデル部分では、DEM から作成した河川流下方向(河道網)に応じて、各グリッドで発生した流出を Muskingum-Cunge 法によって積分する。Muskingum-Cunge 法は他の水理学的な河道追跡法のように、基礎式を物理的に厳密に解く方式に比べて数値計算のコストが低いことが利点であり、黄河のような流域面積の大きい流域を対象とした、ある程度期間の長い水文流出計算を行う際に適している手法であると言える。

オリジナルの TOPMODEL には2つの経験的なパラメータが必要となるが、その2パラメータは1つの流域に対してモデルの河川流量を観測流量に合わせるようにキャリブレーションすることにより決定される。それに対して B TOPMC モデルでは、数地点の流域内流量の観測値を用いることにより、全ての観測地点におけるモデルの算定流量が観測値に近くなる組み合わせになるように繰り返し計算を行い、サブ流域ごとのモデルパラメータ値を決定する点が特徴である。

Table 3.6.1 : B TOPMC モデルのチューニングパラメータ

Description	パラメータ名	単位
マニングパラメータ	n_0	
透水係数の深度方向減衰率	m	m
地表面近傍の飽和透水係数	T_0	m ² /h
根層における最大容水量	Sr_{max}	m

BTOPMC モデルでは表 1 に示される 4 つのモデルパラメータをキャリブレーションによって求める必要があり、従来、これらのパラメータ値はキャリブレーションに用いる河川流量観測の地点数だけ設定しなければならなかった。すなわちキャリブレーションに用いる河川流量観測地点に対する上流全体に 1 セット(4 つ)のパラメータが設定されるため、全流域を N 個に分割した場合には、BTOPMC モデルの中では $N \times 4$ 個のパラメータが過去の流量データを用いて決定する必要があった。本課題では、パラメータ T_0 , Sr_{max} については土壌タイプや土地被覆に基づき与える方法を開発し(Hapuarachchi et al., 2004)、これによりパラメータキャリブレーション効率の向上と不確実性の軽減が可能となった。この流域内のキャリブレーションパラメータの分布と、Muskingum-Cunge による時間ステップごとの流下モジュールの組み合わせによって、従来の TOPMODEL では対象とする流域の最端部(outlet)の河川流量のみしか得ることができないのに対して、BTOPMC モデルではサブグリッド内のグリッド格子ごとの河川流量を得ることができる。

(b) 可能蒸発散量推定サブモデル

黄河流域のような乾燥地を含む河川流域では、地表に降った降水がどのくらい大気へ蒸発するかを算定することが非常に重要である。本課題開始前の BTOPMC を含む一般的な降雨-流出モデルは、蒸発量の算定過程は簡易なものが多い。その理由は、蒸発散量を推定する手法は地表面への放射量や飽差といった多くの気象観測データが必要となるが、降水量や気温のように継続的に観測が行われている河川流域は世界でもまれであるためである。一方、いわゆる陸面モデルとよばれるような気象モデルと結合した熱水収支を解く数値モデ

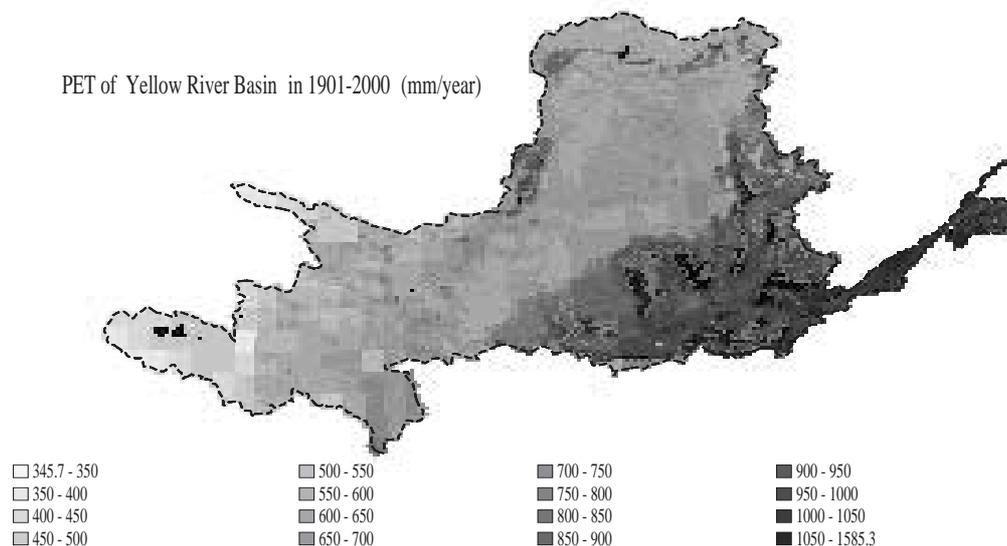


Fig. 3. 6. 1: 黄河における年可能蒸発散量の推定結果 (1901~2000 年の平均値)

ルでは、陸面の蒸発散量を計算するために必要な大気外力データは気象モデルから与えられるため、蒸発に必要なエネルギーを算定して蒸発散量を陽的に計算する手法が開発され

てきた。そこで、本課題で新たに開発した可能蒸発散量サブモデルでは、得られる衛星観測データを利用し、放射などの気象データが得られないような地域においても可能蒸発量を算定する手法を構築し、黄河流域に適用した。

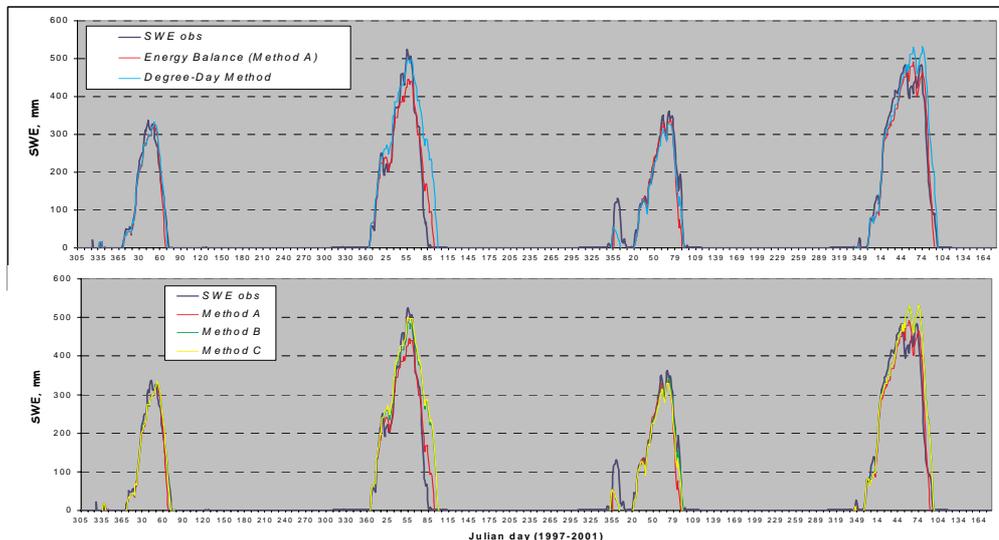


Fig. 3.6.2： 長岡における 1997-2001 積雪水当量の算定結果。上図は全ての入力データを使用する熱収支モデル A と Degree-day 法の比較、下図は入力データの数を減らした熱収支モデル同士の比較を示す。

河川流出発生と流下過程を算定する BTOPMC モデルでは、実蒸発散量は各グリッド格子ごとに土壤に含まれる水分量をもとに計算される。グリッドからの実蒸発散量は、月単位の可能蒸発散量と土層(根層及び不飽和層)の貯留量に応じて、毎時間ステップごとに算定されてグリッドの貯水量から減じられる。なお、実蒸発散量算定における土壤乾燥に伴う蒸発抑制の効果は、Drying function (Vorosmarty et al., 1998)を導入することにより表現している。また、可能蒸発散量としては、植物の効果を加味したもの(ここでは“実”可能蒸発散量と呼ぶ)を用いる。この“実”可能蒸発散量は、植生タイプ(土地利用)ごとに実蒸発量を算定する Shuttleworth-Wallace 法を応用し、グリッド毎の植生タイプと衛星観測による植物の活性指数の指標 (NDVI)、月平均の風速、降水量、最高・最低気温から算定する。この“実”可能蒸発散量を算定するモデルが可能蒸発サブモデルである。与える NDVI は NOAA-AVHRR による月平均の観測値を用いる。植生タイプは IGBP(International Geosphere Biosphere Program)による 17 区分のデータを 4 区分に再分類して使用し、Shuttleworth-Wallace 法で必要な植物に関するパラメータ値(植物の種別ごとの平均的な粗度やアルベドなど)は、過去の文献値を参考に決定した。

この新しい可能蒸発散量推定サブモデルにより、土地被覆(地表面粗度、アルベドなどの違い)及び気象条件(気温、風速、放射など)の時間的・空間的な分布を考慮した可能蒸発散量の算定が可能となった。

(c) 積雪・融雪サブモデル

衛星観測データを利用する積雪・融雪サブモデルを開発し、黄河流域における融雪量の時空間分布の推定を行った。さらに、凍土による浸透量の抑制過程を新たに開発し YHyM モデルに組み込んだ。

積雪・融雪モデルは気温と積雪量の経験的な関係を用いる Degree-day モデルと、雪の熱収支を明示的に解くモデルの 2 種類を作成した。後者の熱収支モデルは入力データの利用可能性に応じて、全ての必要なデータ(降水量、気温、雲被覆率、水蒸気圧、風速)を与えるもの、雲被覆率を他の入力データから推定するもの、雲被覆率と水蒸気圧を推定するもの、3 つのモデルを開発して比較を行った。また、異なる時間・空間解像度の衛星観測データを組み合わせることにより、高解像度・長期間の積雪面積の抽出手法を新たに開発し、黄河流域の長期積雪面積データセットを構築し、モデルのキャリブレーションや検証、ならびに水収支解析に用いた。

開発したモデルは、積雪水当量や気象データが利用可能な日本やロシアの観測所における比較検証実験を行い、パラメータの設定や改良を行った。Degree-day モデルは入力データが少ない(降水量と気温)反面、熱収支モデルよりも積雪量の算定エラーは大きい(Fig.3.6.2・上)。しかしながら、必要な入力データを他の入力データから推定する手法を開発することによって、Degree-day モデルに必要な降水量と気温にくわえて風速データのみを必要とする熱収支モデルにおいても、最も多くの入力データを必要とする熱収支モデルとほぼ同様の適切な積雪量算定が可能であることが見出され(Fig.3.6.2・下)、これをYHyMの積雪・融雪サブモデルとして採用することにした。

B. 水文気象データの整備

YHyMに与えられるデータは Table 3.6.2 のようにまとめられる。YHyMは降水量と河川流量以外、衛星観測データやグローバルデータセットから容易に作成できる仕様とし、黄河流域のような広大な流域面積で、かつ乾燥地や積雪地域が含まれる河川流域においても、比較的容易に妥当な水文流出シミュレーションができる点が既存の降雨-流出モデルと大きく異なる特徴である。本課題では、水文流出シミュレーションを駆動する外力(気象)データ、モデルの境界条件を与える土地利用や地形・地質に関するデータ、モデルの検証ならびにキャリブレーションを行うための河川流量観測データを収集し、整備した。

降水データに関しては、1972年から2000年を対象に収集と整備を行った。1972年から1979年までの8年間を対象に整備した降水観測データは84地点観測所、1981年から2000年までの10年間を対象に整備したデータは94地点であった(Fig. 3. 6. 3)。可能蒸発散量サブモデルを駆動するための外力データは、主に衛星観測データから推定した。モデルのパラメータのキャリブレーションならびに検証に使用した流量観測データは、同じく Fig. 3. 6. 3 に示す10地点である。

域の弾力性の地理的分布は図1のようになるが、流域の上流端と下流端ならびに流域の南側において降水に対する流出感度が多いことが判明した。すなわち、これらのサブ流域では将来気候温暖化などによって降水量が増減した場合に結果としての河川流量の変動が大きく、渇水や洪水などの危険性が少しの降水量の変化で引き起こされる可能性があることを示している(Fig. 3. 6. 4)。

また、長期間の積雪面積の解析により、黄河流域における積雪面積はエルニーニョ年には平均よりも8%多く、ラニーニャ年には15%少ないことが判明した。特に黄河の上流地域(Guide 流量観測所よりも上流域)では、積雪面積はエルニーニョ年に10%多く、ラニーニャ年には25%少ないという関係が見出された(Fig. 3. 6. 5)。近年エルニーニョ現象に関しては予報が可能となっており、エルニーニョ予報と本研究で見出された関係を使用することにより、黄河上流域の積雪量の大小を事前に見積もることができ、黄河流域使用可能水資源量の可能性が示唆された。

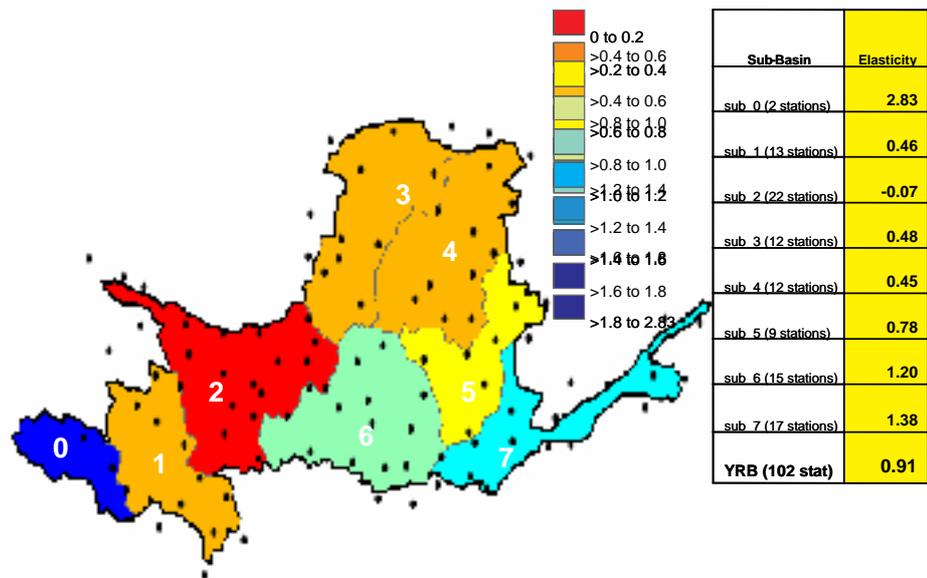


Fig. 3. 6. 3 1972-2000年のシミュレーションにもとづく流出量の降水量に対する弾力性

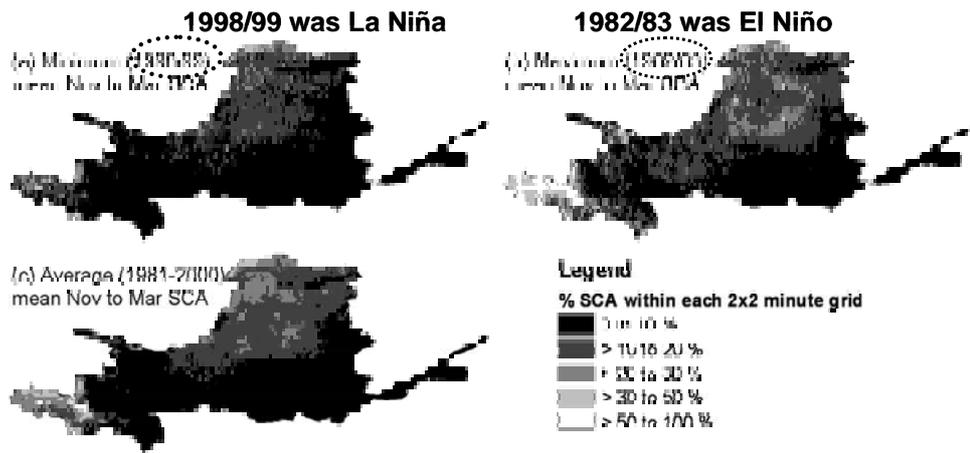


Fig. 3.6.5 : エルニーニョ／ラニーニャ年における黄河の積雪面積の変動

2) 土砂生産・輸送

A. 河道一次元モデルによる土砂堆積量の評価

黄河の中・下流河道区間(Tiexie ～Lijin, Wei河下流部, Longmen～Sanmenxia)に中国水利水電科学研究所泥沙研究所の一次元土砂輸送モデルを適用し、流砂量及び土砂堆積量の推定を行った。推定結果と実測値との比較結果より、モデルは対象河道区間における土砂輸送量を高い精度で推定可能であることが示された。(Fig. 3.6.6)

B. 下流河道区間の土砂堆積に対する Xiaolangdi 貯水池の影響評価

上記の一次元モデルを用いた数値実験により、下流河道区間の土砂堆積に対する Xiaolangdi 貯水池の影響評価。Xiaolangdi 貯水池は三門峡の 130km 下流に位置し、1991 年に着工、1999 年 10 月から運用されている貯水池である。この Xiaolangdi 貯水池は洪水対策や灌漑、発電などの多目的ダムであるが、黄河下流域への土砂流出に対する効果ならびに土砂体積によるその耐用年数について定量的な算定を試みた。

50 年間の黄河流域長期土砂シミュレーションを行った結果、Xiaolangdi 貯水池の建設により黄河下流域の河床上昇が今後 21 年から 28 年くらいは防げることが示された。また、Xiaolangdi 貯水池への年土砂体積量を見積もったところ、持続的な貯水池の運用のためには毎年 21kg/m^3 の土砂を排砂する必要があることが提言された(Fig. 3.6.7)。

(c) YHyM への土砂モデルの導入

中国水利水電科学研究所泥沙研究所の一次元土砂輸送モデルを発展させ、降水イベント(ストーム)を考慮した土砂発生モデルと土砂輸送モデルを開発し YHyM への組み込みを行った。黄河中下流域の Lushi 流域で検証した結果、適切な土砂輸送量が算定されていることが確認され、地形に応じた土砂流出特性を地図上で適切に示すことに成功した。

3) その他の成果

主たる検討項目は、上記の通りであるが、その他にも付加的な検討課題として「水需給推計シス

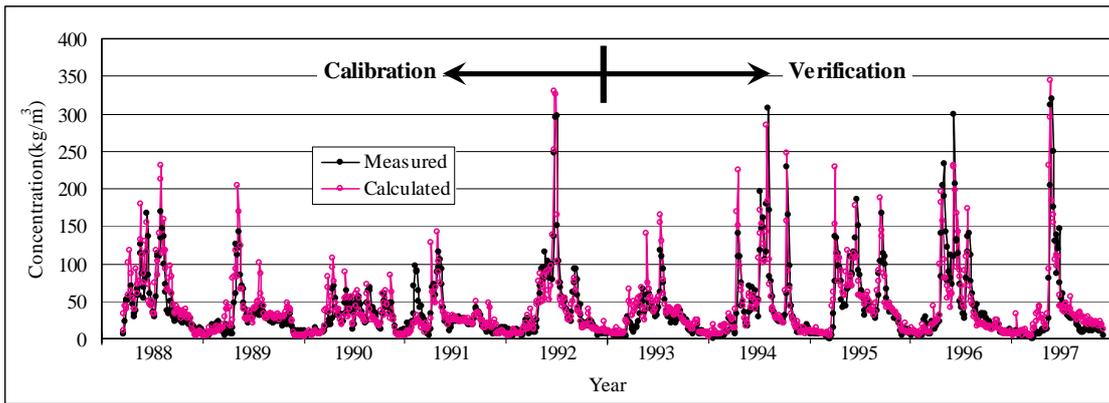


Fig. 3.6.7: 一次元モデルによる土砂濃度(Huayuankou 地点)の再現結果

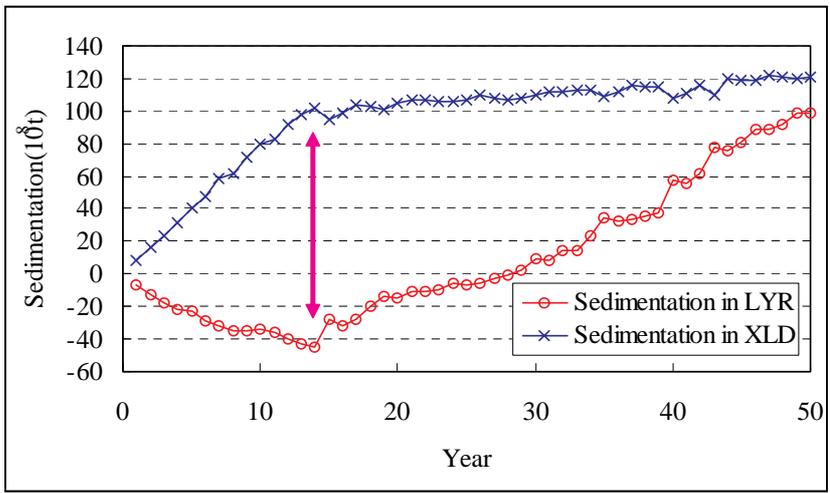


Fig. 3.6.7: Xiaolangdi 貯水池建設後の土砂堆積量の将来予測

図中青線：貯水池内の土砂堆積量，赤線：下流河道区間の土砂堆積量

テムダイナミクス(SD)モデルの開発」を行った。これは、黄河流域における地域別・用水部門別の
水需給バランスの把握を目的としたものであり、断片的に得られる水文・気象・水利用データをもと
に、それらを総合的視点から分析し、河川区間別に農業用水使用量・工業用水使用量・生活用水
使用量をそれぞれ推定することにより、黄河流域における水需給バランス評価を可能にした。

(2)研究成果の今後期待される効果

本研究グループでは、黄河流域を対象とした水文流出モデルと土砂流出モデルの開発と、それ
らを用いた黄河流域の長期シミュレーションによる応用的な研究を行った。黄河流域という代表的
な大河川であり、乾燥地と積雪地域を含む河川流域を対象として水文流出モデルを開発したこと
により、黄河流域のみならず他の河川流域に適用可能な流出素過程の理解が進んだ。特に、水
資源量の算定がもっとも重要である一方でこれまで日本や世界の研究グループであまり進んでこ
なかつた乾燥地流域におけるモデル開発と、そのモデルシミュレーションによる乾燥地流域の水資

源アセスメントが本課題で得られた知見によりより適切に進められる見込みとなった。

また、本研究グループでは観測データが得られない場所(たとえば黄河上流の山岳地域など)においても適切な水文流出シミュレーションを行うため、得られる衛星データやグローバルデータセットを最大限活用したモデリング手法を開発した。このため、国際水文科学会においても重点目標とされてきた観測不測地域における水文流出予測の研究にも本研究グループの成果が今後貢献されるものと期待する。

さらに、本研究グループによる長期水文・土砂シミュレーションにもとづく黄河流域の将来の水資源量・土砂量に関する影響評価は、社会的に関心が高い研究であり、今後ともその発展ならびに成果が期待されるものと思われる。

3.7 流域水マネジメントI(名古屋大学大学院環境学研究科教授 井村秀文グループ)

(1)研究実施内容及び成果

1) 研究目標

黄河流域のあらゆる生産活動と人間生活は、黄河という1つの河の水資源に大きく依存している。近年は、特に人口増加、灌漑農業の発達と工業化、都市化の進展によって水需要は増加する一方である。こうした条件下に置かれた流域の水資源管理のためには、流域を構成する各地域・各セクター(農業、工業、生活)の水資源需要の動向を把握しつつ流域全体の需給バランスをいかに達成するか、地域間・セクター間の公平性を考慮しつつ各地域・各セクターにどのように水を配分するのが効率的かを分析する必要がある。

これまで、黄河流域における水資源利用に関する研究の多くは、特定の地域やセクターに焦点を当てたものであり、流域全体の水資源需給を検討した研究は限られる。広大な黄河流域を対象とした水資源需給バランスに関する研究としては、長期的将来にわたる水資源需給が地域の経済社会にどのようなインパクトをもたらすかを分析した世界銀行の報告書(2001年)がある。また、中国工程院は、「中国の持続可能な発展のための水資源戦略研究報告書」(2001年)を発表している。中国の水資源政策に関わる多くの専門家の知見を結集したこれらの報告書が既に存在するものの、その分析の基礎となったデータの多くは外部者には入手困難であり、また、用いた手法やモデルの細部も外部者には不明の部分が多い。

そこで本研究では、流域内と流域外の水にかかわる自然条件と社会経済条件の相互関係を把握・評価し、流域のより合理的な水資源管理施策の確立に資することを目的とし、以下を実施した。①公刊された統計データを用い、内部構造の透明性を可能な限り確保しつつ、黄河流域の水資源需給バランスを把握するためのモデルの開発、②開発したモデルを用いたシミュレーションの実施と、水資源需給構造の空間的・時間的構造の把握・分析、③食料需給に焦点を当て、社会経済的要因が水資源需給に与える影響の分析。

2) 研究手法

水需要は、個々の地域の経済成長、都市化、土地利用、人口増大等の社会経済因子によって支配されるが、こうした社会経済因子に関するデータは行政単位で整備されている。したがって、

水需要の地域的特性を分析するには、できるだけ小さな行政単位を基礎単位とすることが望ましいが、中国の各種統計で共通的に扱われる最小行政単位は県ないしは市である。そこで、本研究では流域の 305 の県市を基本単位とした。また、水使用量は季節により大きく変化するので、月単位での需給変化を分析した。

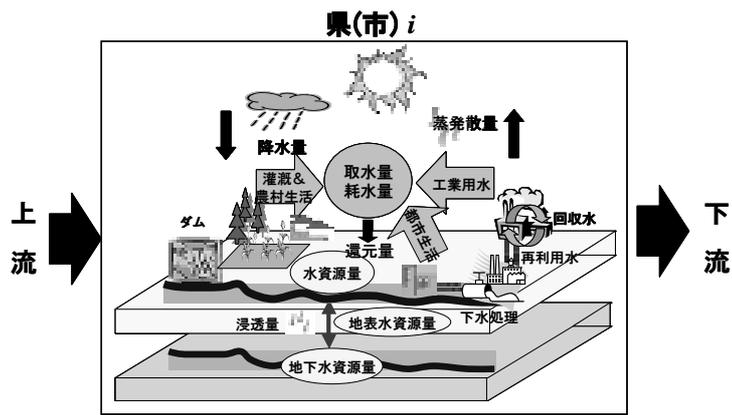


Fig.3.7.1 各県市の水循環フローの概念

Fig.3.7.1 に各県市の水循環フローの概念を示す。各県市を 1 つのボックスとし、その領域内部での空間的分布は無視する。県市ごとに、水資源量と、生産・経済活動にともなう取水量および消費水量を年別あるいは月別に推定した。

次に、流域全体にわたって上流から下流へとすべてのボックスを配置し、河道に沿って各県市をリンクさせることで上流から下流までのカスケード関係を考慮できるようにした。次に、各地域、各セクターの水需要と需給バランスを 1 つのチャートに表示する。これによって、流域全体の地域別、セクター別の水需給構造とともに流域全体の需給バランスを年別あるいは月別に把握分析できるようにした。

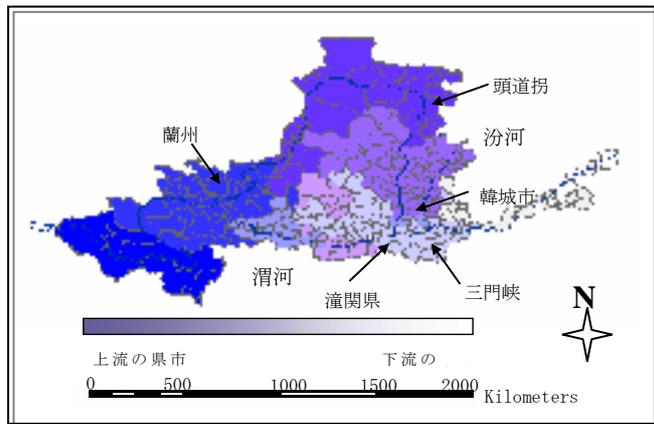


Fig.3.7.2 水資源カスケード：県市の配列

黄河流域は、本流と 76 本の一級支川(それぞれの流域面積は 1000km²以上)、それらに流入する 2・3 級支川の流域から構成されている。県市の上流から下流への水資源カスケード関係を分析するには、河道に沿った各県市の位置関係(いずれの県市が上流側、下流側に位置するか)を決定する必要がある。そのため、標高データから作成した各支流を含む集水域の上流から下流への流れを基に、各県市のカスケード関係を設定した (Fig.3.7.2 参照)。流域全体の大局的分析を目的として、2 大支流である汾河と渭河は本流と区分する。なお、支流から本流への流入については、汾河は韓城市、渭河は潼関県で、それぞれ黄河本流に合流するものとした。

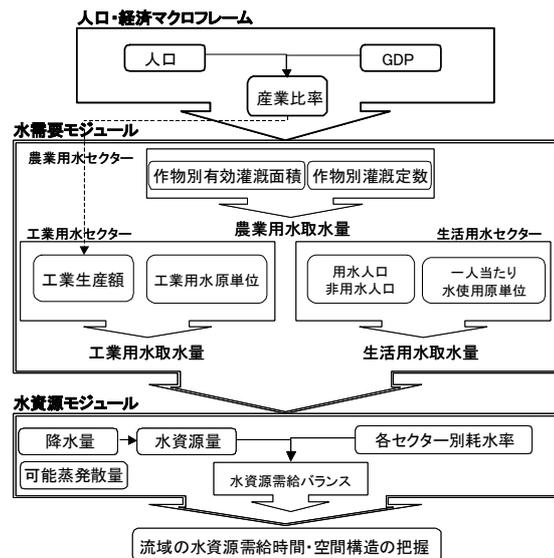


Fig.3.7.3 水資源需給モデルの構成

各縣市の水資源需給バランスについては、水資源需給モデルを構築し、それに基づき推計した。Fig.3.7.3 に水資源需給モデルにおける構成を示す。

水資源需給モデルは、人口・経済マクロフレーム、水需要モジュール、水資源モジュールから構成されている。人口・経済マクロフレームでは、人口と GDP から産業構造を推計し、工業生産額を求める。水需要モジュールでは、農業・工業・生活といった各セクターにおける活動量あたり水需要原単位を一人あたり GDP や子業生産量の関数として推計し、これに活動量を乗じて求める。水資源モジュールでは、各縣市の水資源量を推定した上で、各セクターの用水量にそれぞれの耗水率を乗じて消費水量を求め、水資源カスケードによって上流から下流へと流域全体の水資源需給量を求める。

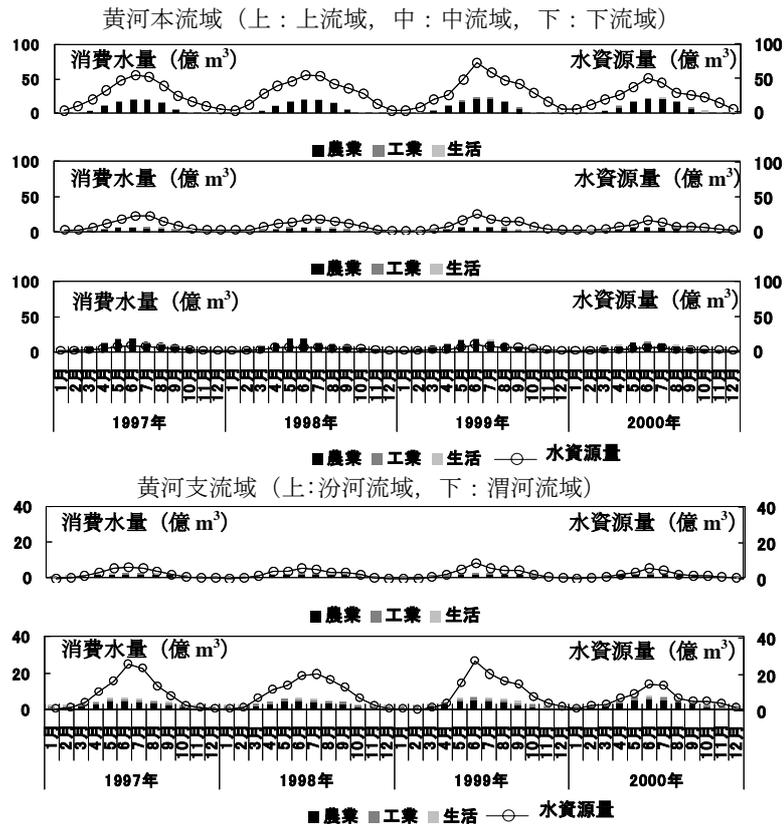


Fig. 3. 7. 4 1997年から2000年までの流域別、月別の水資源需給構造

3) 研究成果

A. 1997年から2000年までの水資源需給構造の変化

1997年に発生した深刻な断流の後、中国政府は水利部を中心に多方面にわたる総合的な水資源管理政策を打ち出した。その結果、1999年以降、2005年現在まで顕著な断流は発生していない(ただし、1998年と1999年には小規模の断流が発生している)。そこで、1997年から2000年にかけて水需給構造がどのように変化したかを検討した。

分析の結果を Fig.3.7.4 に示す。得られた結果から、以下の点が指摘できる。①水資源量の大半は上流域から供給されている、②1997年は、その他の年と比べて、どの流域においても水資源量が少ない、③また、水資源量は季節による変化が大きい、④一方、消費水量は下流域と上流域に

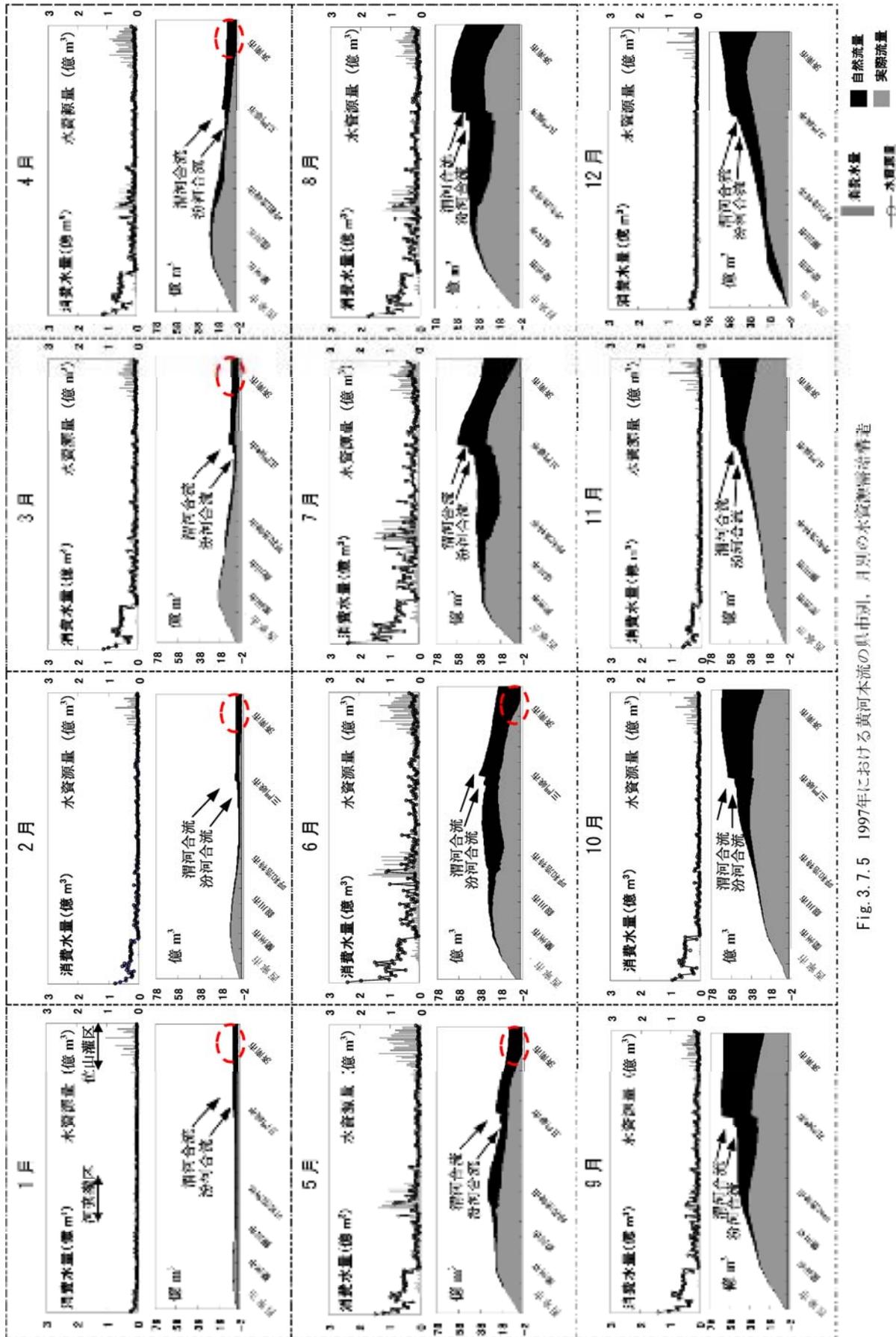


Fig. 3.7.5 1997年における黄河本流の県市別、月別の水資源需給構造

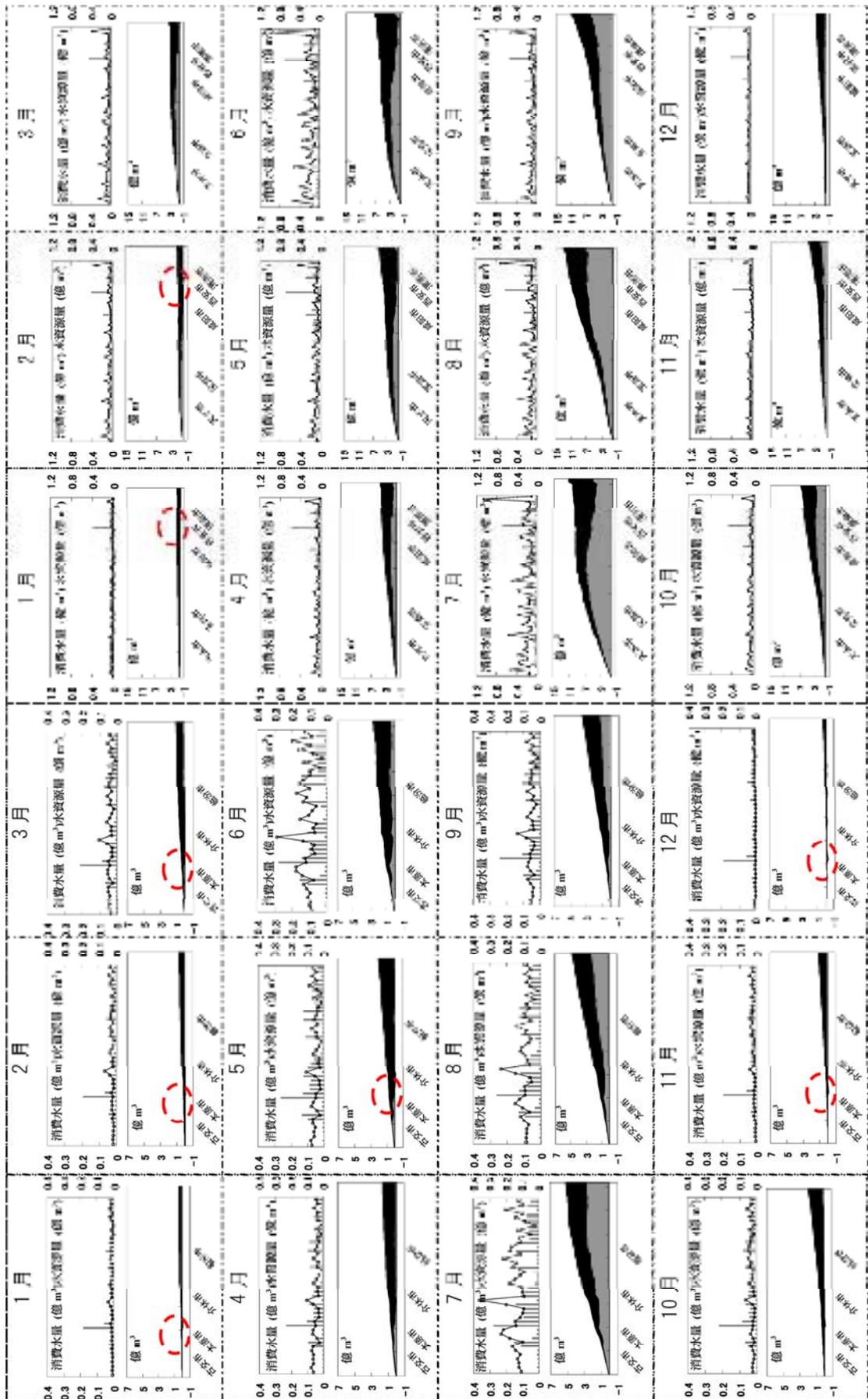


Fig. 3.7.7 1997年における清河の県市別、月別の水資源需給構造

Fig. 3.7.6 1995年における清河の県市別、月別の水資源需給構造

において多く、特に農業での消費水量が多い、⑤季節における水利用に大きな変化がある、⑥特に、下流域では域内の水資源量を上回る消費水量が発生している、⑦支流域においても、汾河流域は水資源量と消費水量が逼迫している。

大規模な断流現象が発生した 1997 年と、断流現象が全く発生しなかった 2000 年を比較すると、水資源量と下流域での水使用量に違いが見られる。したがって、1997 年に起きた断流は、水資源量が少ないことに加えて、下流域域での過剰な水利用が重なったことで、大規模化したと考えられる。また、2000 年には灌漑面積の増加が鈍化した一方で、下流域の山東省や河南省などで灌漑定数の低下が見られ、取水量が削減されたことによって、消費水量が低下したと考えられる。

Fig.3.7.5, Fig.3.7.6 および Fig.3.7.7 に 1997 年における、各県市の水資源需給バランスを月別・流域別に示す。分析の結果、以下の点が示された。①水資源量の多くが蘭州より上流で供給されており、特に、夏季にその供給量が多い。②下流域の位山灌区などで、消費水量が慢性的に水資源量を超過している。③下流域では、冬季にも多くの水を引黄灌漑区に引水しているため、水資源需給のアンバランスが年間を通じてみられる。④上流域は恵まれた水資源量によって、下流ほど水資源需給バランスは悪くないが、消費水量が増加する 4 月から 8 月においては、河套灌区で消費水量が水資源量を上回っている。⑤渭河流域の西安市、汾河流域の太原市で消費水量が突出して大きく、年間を通じて水資源量を超過している (Fig.3.7.5, Fig.3.7.6 および Fig.3.7.7 の破線丸枠)。

B. 経済成長と都市化が水資源需給バランスに与える影響

(a) 地域経済成長シナリオ

黄河流域の人口は 1 億 1,500 万人であり、およそ中国全体の 10 分の 1 に相当する。黄河流域に属する省(黄河流域以外の県市も含む値)の実質 GDP は 1980 年から 2000 年にかけて約 3 倍に増大した。こうした急激な経済成長は産業構造の変化と都市化をもたらし、その結果、水資源需給構造も変化している。本研究では上述の分析モデルを用いて、経済成長にともなう産業構造の変化や都市化が水需給バランスに与える影響を分析した。

経済成長では、地域間の経済格差が拡大することも考えられる。そこで、本研究では各省の GDP を外生的に与え、省内における県市の成長率について 3 つの異なるシナリオを設定した。具体的には、経済成長率が省内の各県市で等しい「均等成長シナリオ」、省都の経済成長率が他の県市よりも高い「大都市成長シナリオ」、省都および城市の経済成長率が他の県市よりも高い「中都市成長シナリオ」の 3 つのシナリオを設定した。ただし、省全体の経済成長率は 3 つのシナリオとも同一に設定している。図 8 に、省都と城市の位置を示す。また、各省の GDP の将来予測は、先行研究である「中国持続発展水資源戦略研究報告書第 4 巻」を参考に設定した (Fig.3.7.1 参照)。

各県市における人口の成長率は、簡単化のため、基本的に省のそれに等しく設定した。各省の人口の将来予測についても、先行研究である「中国持続発展水資源戦略研究報告書第 4 巻」を参考に設定した (Table 3.7.2 参照)。

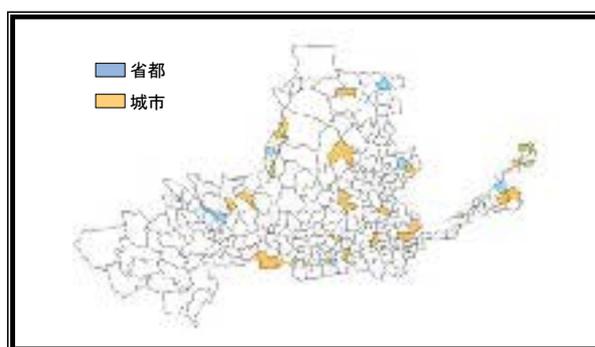


Fig. 3.7.8 省都及び城市の位置

Table 3.7.1 全国及び黄河流域の GDP と GDP 成長率 (%) の設定シナリオ

	GDP (億元)				GDP 成長率 (%)		
	2000 年(実績)	2010 年	2030 年	2050 年	2000-2010 年	2011-2030 年	2031-2050 年
全国	89,404	186,800	537,800	1,000,000	7.65	5.43	3.15
黄河流域	7,015	13,127	38,122	78,034	6.60	5.60	3.70
山西	1,632	2,817	6,988	12,683	5.66	4.69	3.03
内蒙古	629	1,117	2,907	5,445	5.97	4.95	3.19
山東	1,611	3,503	1,2808	30,066	8.16	6.76	4.36
河南	1,095	2,141	6,545	13,644	7.00	5.80	3.74
四川	6	10	27	51	6.03	5.00	3.22
陝西	1,253	2,187	5,530	10,164	5.78	4.79	3.09
甘肅	443	769	1,926	3,519	5.72	4.74	3.06
青海	118	191	426	720	4.99	4.14	2.67
寧夏	229	393	965	1,741	5.60	4.64	2.99

産業構造は、以下の式で求めた。ここで、産業比率とは、各産業の付加価値の総額が GDP に占める割合をさす。

$$\ln\left(\frac{1}{1-\text{1次産業比率}} - 1\right) = a \cdot \ln(1 \text{ 人あたり GDP}) + b \quad (1)$$

$$\ln\left(\frac{1}{3\text{次産業比率}} - 1\right) = a \cdot \ln(1 \text{ 人あたり GDP}) + b \quad (2)$$

$$\text{2次産業比率} = 1 - (\text{1次産業比率} + \text{3次産業比率}) \quad (3)$$

Table 3.7.2 全国及び黄河流域の人口と人口成長率 (%) の設定シナリオ

	人口 (万人)					人口成長率 (%)			
	1990 年 (実績)	2000 年 (実績)	2010 年	2030 年	2050 年	1990-2000 年 (実績)	2001 -2010 年	2011 -2030 年	2031 -2050 年
全国	112,956	126,583	140,500	156,000	155,688	1.15%	1.05%	0.52%	-0.01%
黄河流域	9,950	11,527	12,427	13,921	13,886	1.53%	0.71%	0.57%	-0.01%
山西	1,713	2,007	2,160	2,403	2,383	1.63%	0.74%	0.53%	-0.05%
内蒙古	678	754	834	944	953	1.18%	0.93%	0.62%	0.04%
山東	1,407	1,548	1,672	1,875	1,873	0.98%	0.79%	0.57%	-0.02%
河南	1,467	1,695	1,810	2,016	2,003	1.50%	0.65%	0.54%	-0.04%
四川	13	16	16	18	18	1.79%	0.07%	0.60%	0.02%
陝西	2,341	2,698	2,887	3,244	3,252	1.47%	0.66%	0.58%	0.00%
甘肅	1,539	1,800	1,962	2,203	2,208	1.67%	0.80%	0.58%	0.00%
青海	339	386	469	505	488	2.98%	0.28%	0.40%	-0.18%
宁夏	453	550	583	679	707	2.03%	0.52%	0.77%	0.19%

農業用水の原単位は2000年の値を用いた。工業用水の原単位は、新鮮水の原単位を被説明変数とし、非農業人口1人当たりGDPを説明変数とする回帰式から求めた。生活用水の原単位については、「中国持続発展水資源戦略研究報告書第2巻」の将来シナリオを用いた。

また、水資源量については、「黄河流域水資源合理分配和優化調度」の「保証率」を基に、水資

源シナリオを設定した。「保証率(P)」とは、年間降水量の生起確率から水資源の枯渇度を示した値であり、平年の年間降水量を P=50%とし、年間降水量が少なくなるほど P は 100%に近づき、逆にそれが多い年ほど P は 0%に近づく。

ただし、このシナリオ分析では、水需給に重要な影響を与えると考えられる以下の点については考慮していない。

- ・気候変動等による耕作地面積・耕作条件の変化
- ・都市化による農地の減少
- ・農作物の作付けの変化
- ・下水道整備などによる水の再利用

(b)黄河流域全体の水需給ギャップ

Fig.3.7.9に、2050年における黄河流域全体の水需給ギャップをシナリオ別に示す。なお、ここでは、渇水年を想定した保証率 90%の結果を示す。水需給ギャップ(Rw)は以下のように定義した。

$$Rw = \sum_{i=1}^n (C_i - W_i) \quad (4)$$

ただし、Cは消費水量、Wは水資源量、nは県の数、iは県のインデックスをそれぞれ示す。

水需給ギャップ(需要超過量)は、均等成長シナリオで 141.3 億 m³、中都市成長シナリオで 132.1 億 m³、大都市成長シナリオで 88.5 億 m³となった。ただし、ここでの水需給ギャップとは、経済成長にともなって増大する潜在的な需要が自然条件で決まる供給可能量をどれだけ上回るかを示すものである。現実には、このギャップは何らかの形で解消されなければならない。この分析では、経済成長にともない、主に都市部に集中している工業用水と生活用水に対する需要が増大する構造となっている。このため、全省的に広範かつ均等に都市部の経済成長進むほど、消費水量は増大する傾向になる。

(c)流域別の分析結果

地域の影響を詳しく見るため、流域を細分化し、黄河本流域(上流域、中流域、下流域)、渭河流域、汾河流域、湟河流域、洮河流域、無定河流域、沁河流域大、大黒河流域、洛河流域の 11 の流域で検討した。Fig.3.7.10 に水需給ギャップを流域別に集計した結果を示す。分析の結果、流域別に見ると、水資源需給ギャップが最も小さくなるシナリオに違いがみられる。具体的には、上流域、中流域、下流域、洮河流域、無定河流域、沁河流域では、大都市成長シナリオで水資源ギャップが最も小さくなる。しかし、湟河流域、大黒河流域、洛河流域、渭河流域では、均等成長シナリオの場合、最も水需給ギャップが小さく、汾河流域では中都市成長シナリオの場合、最も水需給ギャップが小さい。

黄河本流を例に、シナリオ分析の結果を詳しく比較する。Fig.3.7.11、Fig.3.7.12、Fig.3.7.13 に 2050 年における黄河本流の水需給構造をシナリオ別に示す。シナリオ分析の結果、以下の点が指摘できる。①流域別の水資源量と消費水量の関係を月別に見ると、上流部では水資源量が消費水量を上回る月が多いが、均衡成長シナリオと中都市成長シナリオでは、1月と12月に消費水量が水資源量を超過する。②中流域の場合では、1月、2月、3月、11月、12月にかけて、消費水量と水資源量の格差は縮小する傾向があるが、それ以外の月では、消費水量が水資源量を超過し、その格差は7月にピークを迎える。③下流域では、全てのケースで年間を通じて、消費水量が水資源量を上回っている。

また、渇水年の設定条件ではいずれのケースでも、特に下流部で深刻な水不足が起きることが予想される。Fig.3.7.13 に均衡成長シナリオにおける 2050 の黄河本流の月別水需給バランスを示す。なお、断流が発生している箇所は丸棒で示している。1月から8月にかけて、実際流量が 0 を下回る県市があり、断流が発生する可能性がある。

Fig.3.7.14 に、黄河本流における年間消費水量のシナリオ間比較を示す。これから以下の点を指摘できる。①中都市成長シナリオと大都市成長シナリオを比較すると、中都市成長シナリオの方が、中流域の包頭市(18.3 億 m³)と東勝市(5.8 億 m³)、下流の滨州市(17.5 億 m³)といった城市に

において、消費水量の推計結果が著しく多い(カッコ内はシナリオ間の差). 他方、大都市成長シナリオの方が中都市成長シナリオよりも消費水量が多いのは済南市などであるが、最もその差が大きい済南市の場合でもシナリオ間の違いは 4.8 億 m³ にとどまっている. その他の県市における消費水量については、シナリオ間で大きな違いはない.

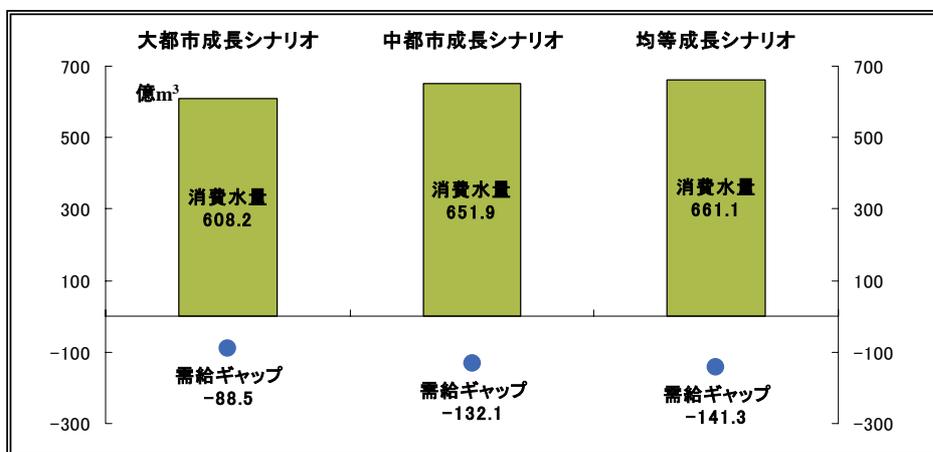


Fig.3.7.9 2050 年におけるシナリオ別水資源需給ギャップの推計結果
(注)降水量は保障率 P=90(渇水年)で計算

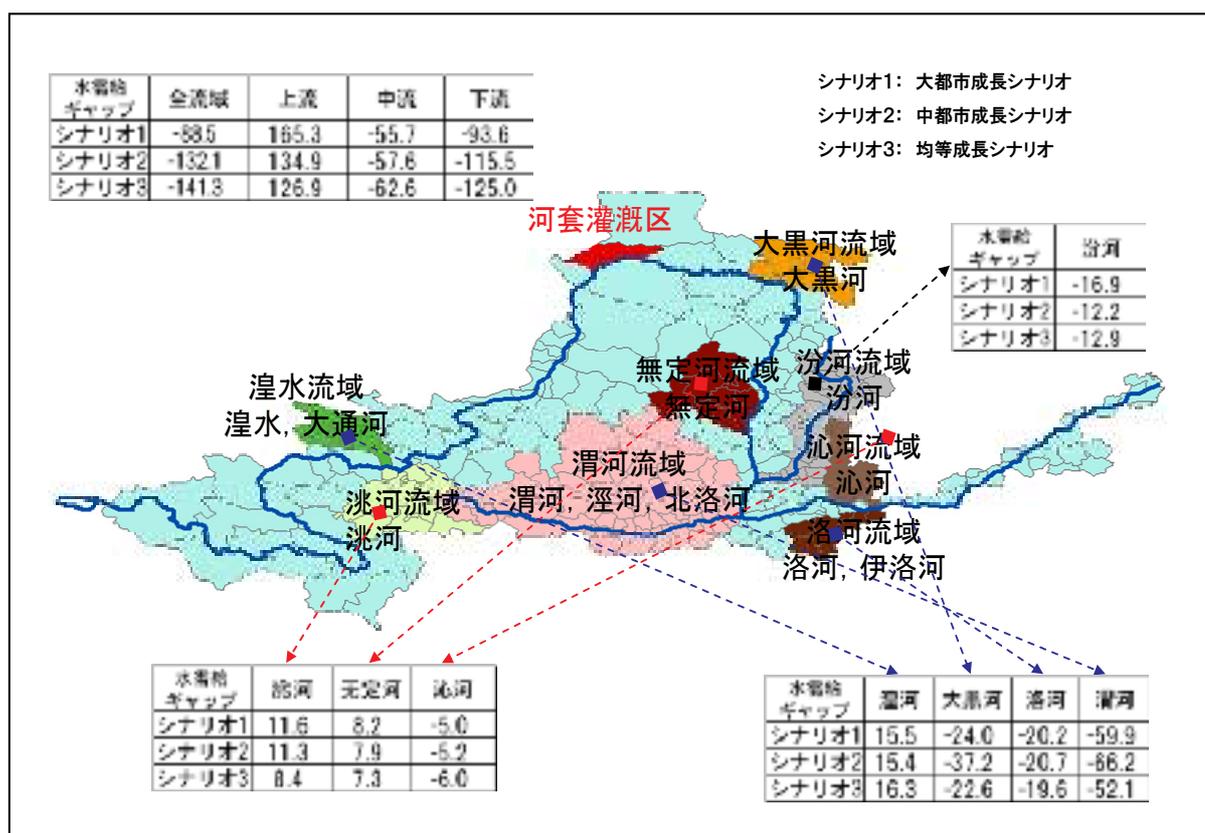


Fig.3.7.10 2050 年における流域別の水資源需給ギャップ
(注)降水量は保証率 P=90 (渇水年)で計算

②均衡成長シナリオと大都市成長シナリオを比較すると、①の結果と類似している。ただし、上流域や下流域の県市で均衡成長シナリオの方が大都市成長シナリオよりも年間消費量が多い傾向がある。

③均衡成長シナリオと中都市成長シナリオについては、①や②の結果と比べると、各県市にお

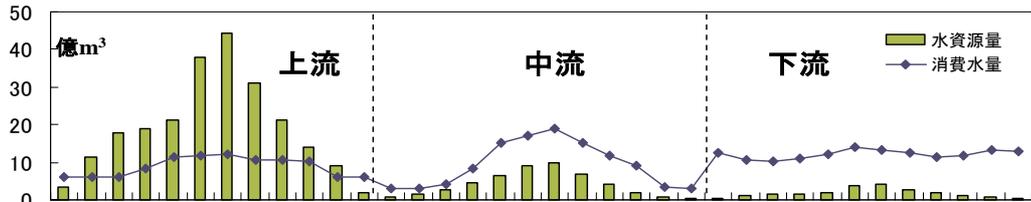
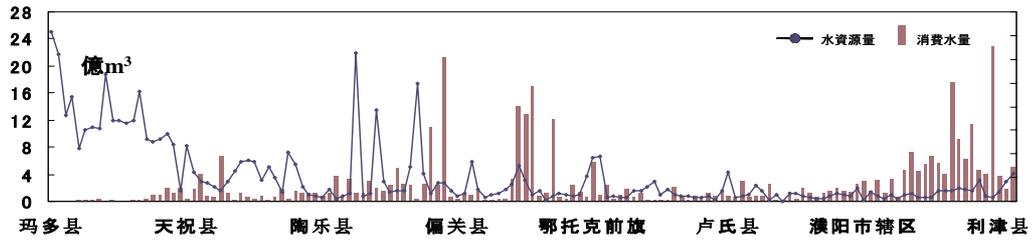


Fig.3.7.11 2050年における黄河本流の水需給構造(均等発展シナリオ)

(注) 上段は各県市における年間の水資源量と消費水量, 下段は各流域における月別の水資源量と消費水量を示す。なお, 降水量は保証率P=90(渴水年)で計算した。

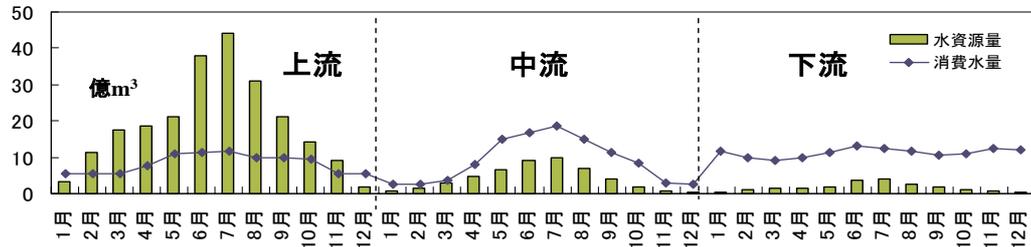
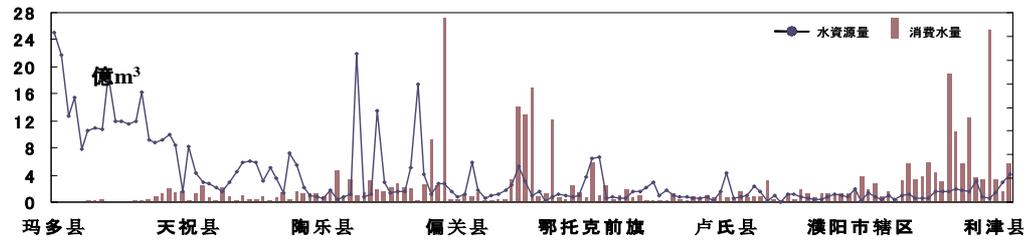


Fig.3.7.12 2050年における黄河本流の水需給構造(中都市成長シナリオ)

(注) Fig.3.7.9 に同じ

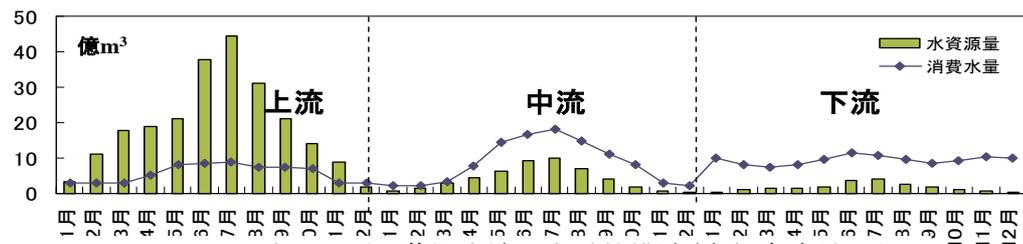
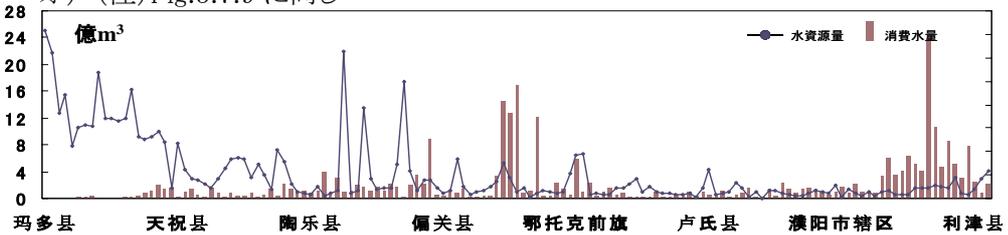


Fig.3.7.13 2050年における黄河本流の水需給構造(大都市成長シナリオ)

(注) Fig.3.7.9 に同じ。

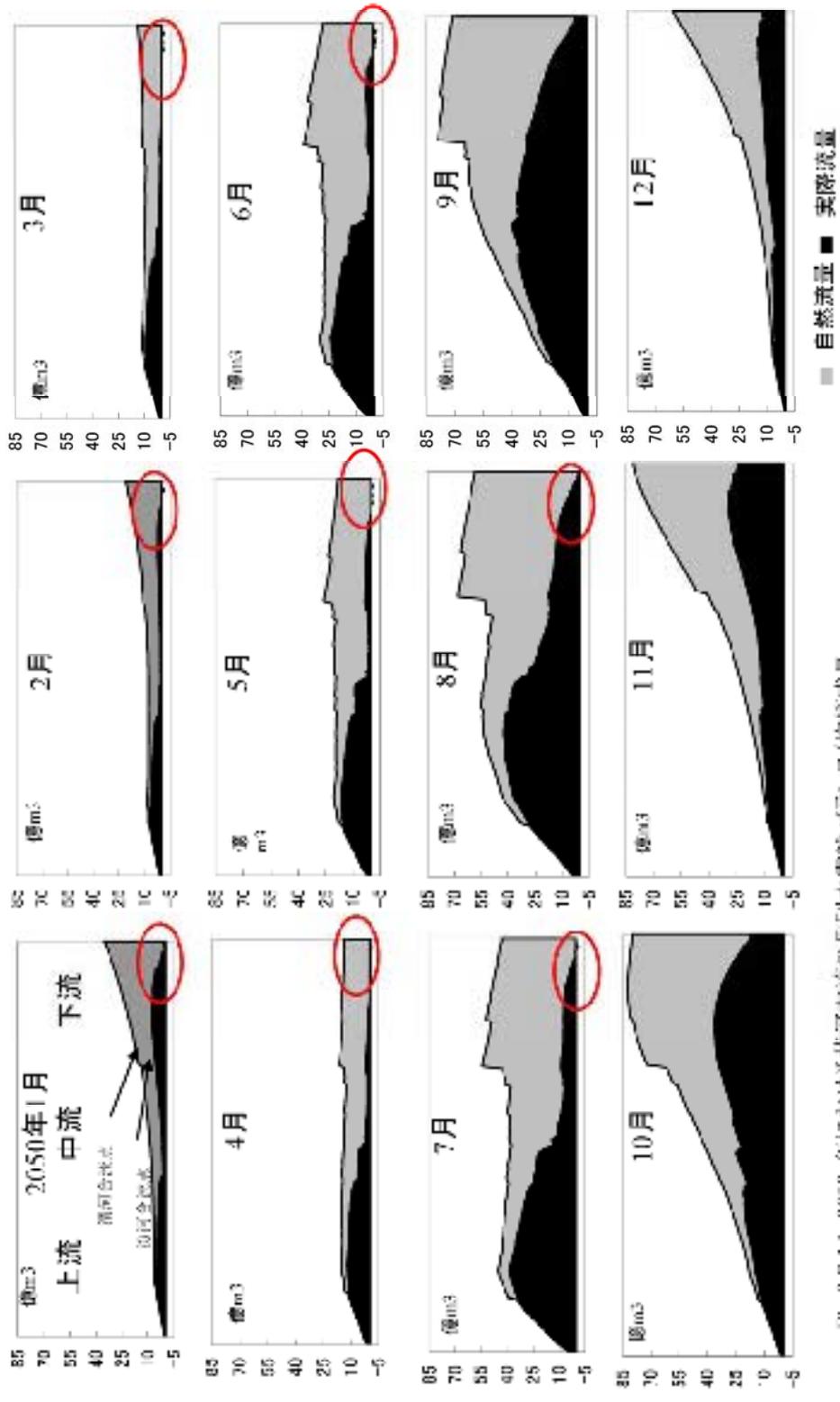


Fig.3.7.14 2050年における黄河本流の月別水需給バランス(均等成長シナリオ) (注) 降水量は保証率P=90(湿水年)で計算

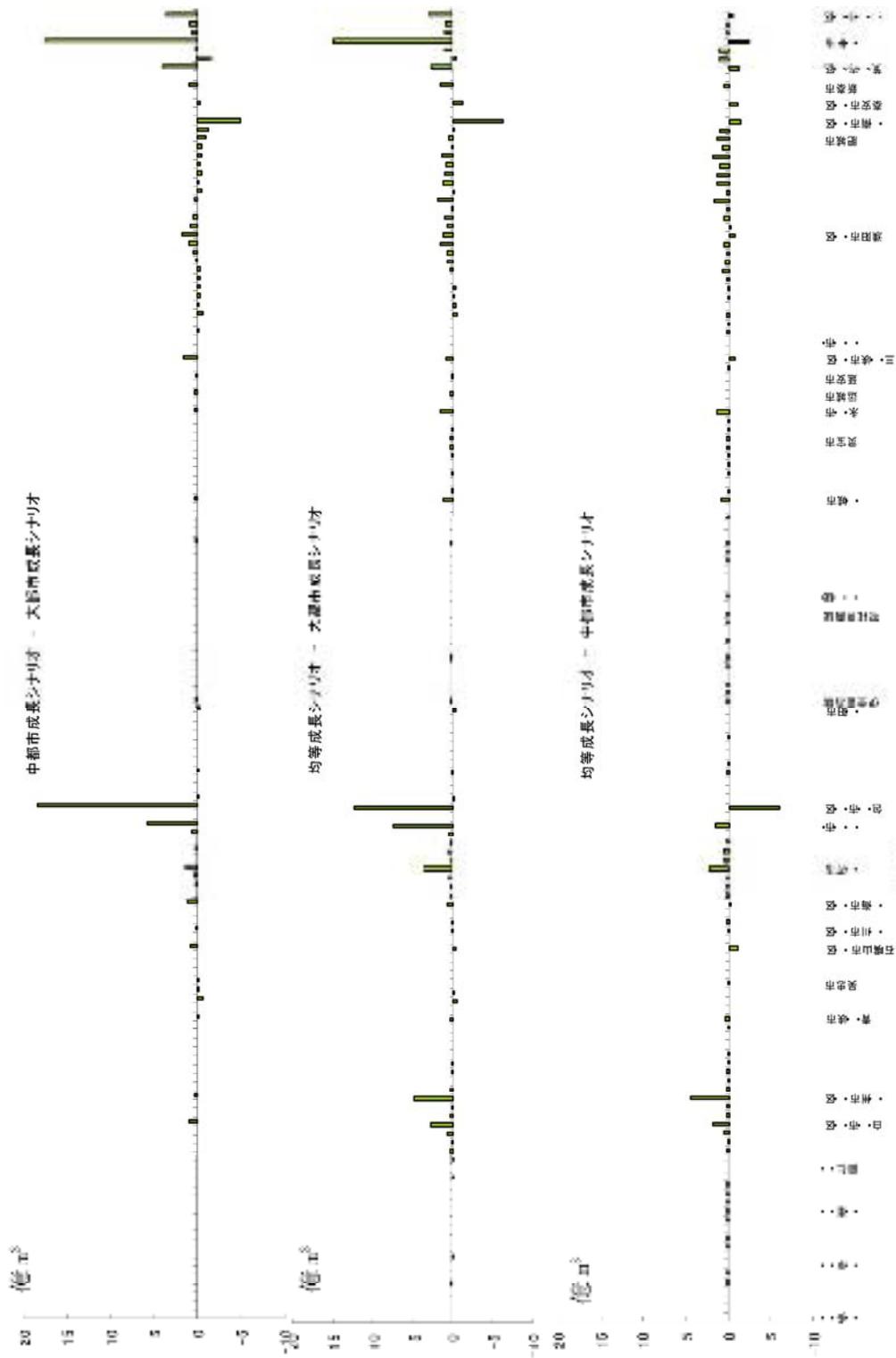


Fig.3.7.15 黄河北流における2050年の年間消費水量の比較
 (注)降水量は保証率P=90(渇水年)で計算

ける年間消費水量の推計結果に大きな違いはないが、均衡成長シナリオの方が上流の蘭州市や下流の都市で年間消費水量が多い。他方、包頭市、浜州市、済南市などで、均衡成長シナリオの方が中都市成長シナリオよりも消費水量が少ない。以上のことより、省都だけでなく、中流部の包頭市、東勝市、および下流部の浜州市といった省都以外の城市も、シナリオ間の消費水量の違いに大きな影響を与えることが分かった。

3) 食料需要の変化が水資源に与える影響

水の用途では農業用水が60%以上のシェアを占め、食料需要の変化が水資源に与える影響は大きい。食料需要は主として所得水準と価格水準で決まるが、流域内で生産される食料は、域内需要だけでなく、交易を通じて流域外の需要も満たしている。そこで、本研究では、米、小麦など作物に関する需要関数を推計し、所得や価格変化にともなう食料需要の変化を省別に推計するとともに、2000年における食料の消費分布と、省間の移送経路と移送量の比率を仮定し、食料需要の変化が、黄河流域の水消費に与える影響を品目別に計算した。

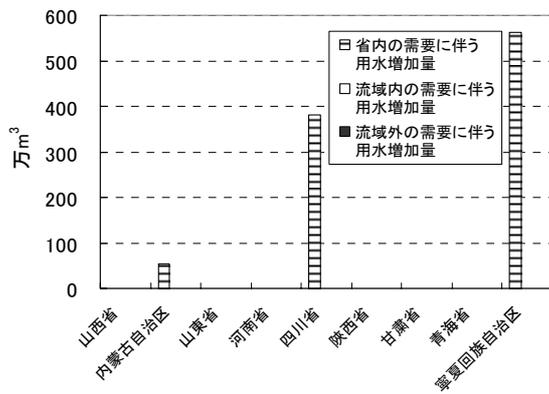


Fig.3.7.16 米の需要に伴う用水増加量 (所得増加率 8%)

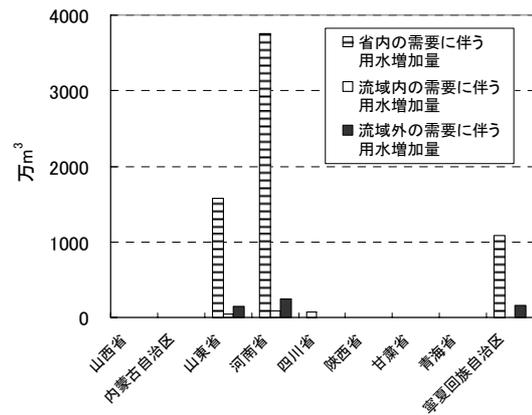


Fig.3.7.17 小麦の需要に伴う用水増加量 (所得増加率 8%)

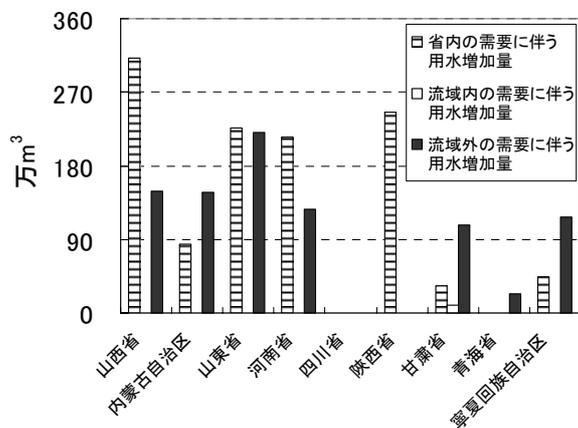


Fig.3.7.18 トウモロコシの需要に伴う用水増加量 (所得増加率 8%)

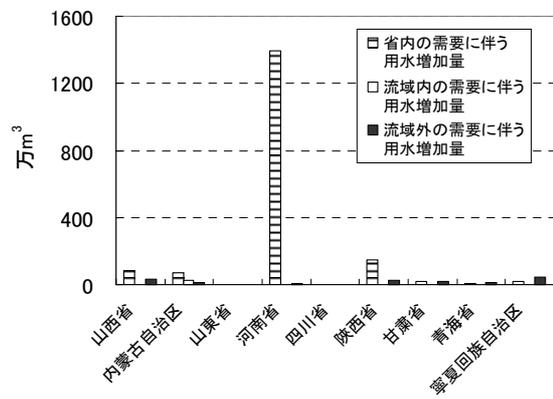


Fig.3.7.19 牛肉の需要に伴う用水増加量 (所得増加率 8%)

Fig.3.7.16からFig.3.7.19に所得が8%増加したと仮定し、黄河流域の9省(山西省, 内蒙古自治区, 山東省, 河南省, 四川省, 陝西省, 青海省, 寧夏回族自治区)における農業用水需要の増加量を示す. さらに, 生産地と消費地の関係を検討するため, 水需要の増加量を省内の需要に起因するもの, 流域内の省外に起因するもの, 流域外の省外に起因するものの3つに区分した. 分析の結果, 作物の品種間で, 用水の増加量には大きな差が生じる. また省間での差も大きい. 作物別に見ると, 流域内の小麦の需要増加が水消費に及ぼす影響が大きい. この理由としては, 流域内では, 米, トウモロコシと比較して, 小麦の生産量が大きいことが挙げられる. また, トウモロコシは, 流域外の需要の黄河流域における水資源に与える影響が他の作物よりも比較的大きい.

D. 考察・結論

本研究で得られた主な成果を以下に示す。

- 1) 本研究では、黄河流域の県市を基礎単位として、上流からの取水・耗水・還元の水資源カスケードを明示的に扱いながら水資源需給の空間的構造を分析するためのモデルを開発した。
- 2) このモデルを用いることによって、1997年から2000年までの水資源需給の構造を再現し、断流現象などの水資源需給アンバランスが発生するメカニズムを考察した。1997年における各県市の水資源需給バランスを検討した結果、降水量が少ないことに加えて水消費量の増加が断流の大規模化につながった。具体的には、黄河本流の下流域、汾河の太原市、渭河の西安市において実際流量が全くなくなる月が発生した。その実際流量が枯渇した月は、本流の下流域で1月から6月、汾河の太原市で1月、2月、3月、5月、11月、12月、渭河の西安市で1月、2月である。断流の発生している本流の下流域では引黄灌漑区をはじめ大半を河川流量に依存している。例えば地下水への依存が大きい渭河や汾河では、西安市における水利利用の7割が地下水であるように、渭河や汾河流域での需給逼迫は断流ではなく、地下水位の低下として問題が生じている。1998年以降、大規模な断水は起きていない。これは、1997年と比較すると降水量が増え、水資源量が増えたことに加え、下流域の山東省や河南省における灌漑定数の低下が大きな原因ではないかと考えられる。
- 3) 経済成長と水資源需要の関係では、1つの省内で広範かつ均等に都市部の経済成長が進む均等成長シナリオで最も水資源需給ギャップが大きくなる傾向にある。ただし、流域の条件によって、必ずしもそうならない場合もある。これは、分析の前提条件・仮定に依存する部分が大いなので、より詳細な検討が必要である。また、現実には、需給ギャップは何らかの方法で解決あるいは解消されなければならない。それがどのような政策、技術によって達成され、地域間・セクター間にどのような負担の配分をもたらすかについての分析は今後の課題である。
- 4) 経済成長にともなう食料需要の変化が流域の水消費に与える影響は、小麦について最も大きい。中国全体で所得が8%増加した場合、流域内外の小麦需要の増大に伴う流域内の農業用水増加量は合計約900万 m^3 である。農業用水需要の増加は、河南省、山東省、寧夏回族自治区の順に大きい。これらの省の場合、増加の大部分は省内の小麦需要に起因している。他方、トウモロコシの需要増加による用水需要の増加は、小麦の場合に比較して小さい。また、流域外からのトウモロコシ需要に応えるための生産に伴う用水需要が大きい。内蒙古自治区、甘肅省、寧夏回族自治区では、流域外の小麦需要増大に起因する用水増加量が、省内需要に起因する量を上回っている。トウモロコシの多くは家畜飼料用であるが、肉の種類で見ると、豚肉生産に起因する用水増加量が700万 m^3 で最大であった。このうち30%分が流域内の他省への供給増に伴うものであった。

経済成長や政策の影響をより詳しく検討するためにはさらにモデルを改善する必要がある。これについての今後の課題としては以下の点があげられる。第1に、簡略化した水資源量の推計の改善と地表水と地下水の水循環フローの解明が必要である。また、ダムの実運用などの人為

的な操作を把握する必要がある。第2に、地域ごとの作物種の特定制とその生長に合わせた水需要パターンの把握が必要である。これについては、リモートセンシング技術を用いて、作物種の特定制やその蒸発散量の推計が進められているところである。今後、その研究成果を反映させ、モデルの精度向上を図る必要がある。

次に、改善されたモデルを用いて現実の水資源配分の効果などに関する政策の効果分析を行っていく必要がある。

(2)研究成果の今後期待される効果

流域全体の水需給バランスを達成するためには、地域間・セクター間の公平性を考慮しつつ、物理的・経済的効率性を検討する必要がある。それを実現するためには、政策の影響を定量的に把握できるようにモデルをさらに改善し、それを活用してさまざまな政策シミュレーションを行っていききたい。

黄河のように広大な流域の管理には様々な地域、セクター間の複雑な利害がからんでくる。その調整は、黄河水利委員会や各省の水利委員会などで実施されているが、議論に必要なデータは必ずしも公開されていないし、水の配分計画を変更した場合にどのような影響が出るかといった問題点も部外者には不明である。

本研究においては、公開された資料・データを用いて、黄河全体の水資源需給の空間的・時間的構造を俯瞰的に把握し、需給を決定しているさまざまな要因が変化した時にどこにどのような影響が出るかを分析するツールを開発した。これによって、実際の黄河の水需給の再現を試みて、一定の精度を確認した。今後は、モデル構造の改善と新しいデータの入手によって、モデルの精度向上を図っていききたい。また、改善されたモデルを用いて、さまざまな政策シミュレーションを実施していききたい。これによって、利害を異にするさまざまな関係者が、流域全体の状況を理解しながらより透明かつ合理的な議論を行うことが可能になるものと期待している。

4 研究参加者

①農業乾燥地Iグループ(乾燥地の水循環解明・節水型農業技術開発の研究)

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
渡邊 紹裕	総合地球環境学 研究所	教授	節水灌漑技術	平成13年12月～ 平成18年11月
久米 崇	総合地球環境学 研究所	プロジェクト上 級研究員	地域水・塩分、収支土 地利用管理技術	平成14年1月～ 平成18年11月
長野 宇規	総合地球環境学 研究所科	日本学術振興 会特別研究員	地域水・塩分、収支土 地利用管理技術	平成15年4月～ 平成18年11月
赤江 剛夫	岡山大学環境理 工学部	教授	除塩技術開発	平成13年12月～ 平成18年11月

劉 霞	岡山大学環境理工学部	日本学術振興会特別研究員	灌漑農地の水循環計測	平成15年4月～平成18年11月
王 麗萍	パイオニア(株)	環境推進本部所属	灌漑農地の水循環計測	平成15年4月～平成18年11月
天谷孝夫	岐阜大学応用生物科学部	教授	節水技術開発	平成13年12月～平成18年11月
川邊生朱	岐阜大学大学院農学研究科	博士前期課程学生	地下水の合理的利用	平成14年3月～平成16年3月
小倉健一郎	岐阜大学大学院農学研究科	修士課程学生	地下水利用農地の水循環	平成15年9月～平成17年3月
道格通	岐阜大学大学院連合農学研究科	博士課程学生	地下水利用灌漑農地の水資源賦存量解析	平成17年9月～平成18年11月
横山翔悟	岐阜大学大学院農学研究科	修士課程学生	地下水利用灌漑農地の地下水資源挙動解析	平成17年8月～平成18年11月
飯田晋平	岐阜大学大学院農学研究科	修士課程学生	地下水利用依存農地の水利用実態と営農基準	平成17年4月～平成18年11月
高瀬恵次	愛媛大学農学部	教授	農地の水循環	平成13年12月～平成18年11月
大上博基	愛媛大学農学部	教授	農地の水・熱収支	平成13年12月～平成18年11月
戎信宏	愛媛大学農学部	助教授	地域水循環	平成13年12月～平成15年3月
田本敏之	愛媛大学大学院農学研究科	修士課程学生	蒸発散モデルの構築	平成15年9月～平成17年3月
賀斌	愛媛大学大学院連合農学研究科	博士課程学生	河套灌区における水収支の解明	平成17年4月～平成18年11月
ハオ愛民	九州大学大学院生物資源環境科学府	博士課程学生	植栽による生態環境改善の評価	平成18年9月～平成18年11月

②農業乾燥地Ⅱグループ(乾燥地の水循環解明・節水型農業技術開発の研究)

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
小林哲夫	九州大学大学院農学研究院	助教授	農地の水循環	平成13年12月～平成18年11月

森牧人	九州大学大学院 農学研究院	助手	農地の水循環	平成13年12月～ 平成18年11月
渡辺江梨子	九州大学大学院生物 資源環境科学府	修士課程学生	水分・塩分収支観測	平成15年4月～ 平成16年3月
岩永理佐	九州大学大学院生物 資源環境科学府	修士課程学生	作物生育・収量調査	平成15年4月～ 平成17年3月
金子武将	九州大学大学院生物 資源環境科学府	博士課程学生	圃場の塩類化スポット形 成機構の解明	平成16年4月～ 平成18年11月
池上大地	九州大学大学院生物 資源環境科学府	修士課程学生	農地のエネルギー収支	平成17年4月～ 平成18年11月
長裕幸	佐賀大学農学部	助教授	節水灌漑技術	平成13年12月～ 平成18年11月
北野雅治	高知大学農学部	教授	トウモロコシの蒸散量評 価	平成16年4月～ 平成18年11月
安武大輔	高知大学農学部	日本学術振興 会特別研究員	作物生育・収量調査	平成15年4月～ 平成18年11月
園田裕虎	九州共立大学工 学部	助教授	農地のエネルギー収支	平成17年4月～ 平成18年11月
日高功太	愛媛大学大学院 連合農学研究科	博士課程学生	トウモロコシの蒸散量評 価	平成17年4月～ 平成18年11月
王維真	中国科学院寒区旱区 環境与工程研究所	副教授	農地の水循環	平成14年2月～ 平成18年11月

③都市グループ(都市における水循環解明・節水型都市構築技術開発の研究)

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
楠田哲也	九州大学大学院 工学研究院	特任教授	都市の水循環	平成13年12月～ 平成18年11月
久場隆広	九州大学大学院 工学研究院	助教授	上下水水道システム	平成13年12月～ 平成18年11月
大石京子	九州大学大学院 工学研究院	助手	都市水環境	平成13年12月～ 平成18年11月
巖斗鎔	九州大学大学院 工学研究院	CREST 研究員	都市水循環解析	平成14年1月～ 平成14年7月

東修	九州大学大学院 工学研究院	CREST 研究員	都市水循環解析	平成 14 年 8 月～ 平成 18 年 11 月
松下正博	九州大学大学院 工学研究院	受託研究員	都市水循環解析	平成 18 年 4 月～ 平成 18 年 11 月
中谷信彦	九州大学大学院 工学研究院	研究補助員	チーム事務担当	平成 14 年 1 月～ 平成 14 年 12 月
叶佳子	九州大学大学院 工学研究院	研究補助員	チーム事務担当	平成 15 年 2 月～ 平成 18 年 11 月
柴田勝史	九州大学大学院 工学府	修士課程学生	都市水循環解析	平成 16 年 4 月～ 平成 18 年 3 月
馬場啓輔	九州大学大学院 工学府	修士課程学生	都市水循環解析	平成 16 年 8 月～ 平成 17 年 3 月
尾崎心平	九州大学大学院 工学府	修士課程学生	都市水循環解析	平成 16 年 10 月～ 平成 17 年 3 月
与賀田隆史	九州大学大学院 工学府	修士課程学生	都市水循環解析	平成 17 年 4 月～ 平成 18 年 11 月
邊見充	九州大学大学院 工学府	修士課程学生	都市水循環解析	平成 17 年 10 月～ 平成 18 年 11 月
吉村健清	福岡県環境保健 研究所	所長	内蒙古の地下水飲用の 健康影響	平成 14 年 5 月～ 平成 18 年 11 月
藤野善久	産業医科大学公 衆衛生学教室	講師	内蒙古の地下水飲用の 健康影響	平成 14 年 5 月～ 平成 18 年 11 月
白根聖弓	産業医科大学大 学院医学研究科	博士課程学生	内蒙古の地下水飲用の 健康影響	平成 15 年 2 月～ 平成 18 年 11 月
茂木佳枝	産業医科大学産業生 態科学研究所	産業医学修練 医	内蒙古の地下水飲用の 健康影響	平成 15 年 2 月～ 平成 17 年 3 月
久保達彦	旭化成(株)延岡支店 健康管理センター	産業医	内蒙古の地下水飲用の 健康影響	平成 16 年 6 月～ 平成 18 年 11 月
Pham Truong Minh	産業医科大学臨 床疫学	大学院生	内蒙古の地下水飲用の 健康影響	平成 16 年 6 月～ 平成 18 年 11 月
郭小娟	温州大学公共衛 生学院	教授	内蒙古の地下水飲用の 健康影響	平成 16 年 6 月～ 平成 18 年 11 月

谷村 晋	長崎大学熱帯医学研究所	助手	内蒙古の地下水飲用の健康影響	平成 15 年 2 月～ 平成 18 年 11 月
和泰	(株)新日本環境コンサルタント	主任	内蒙古の地下水飲用の健康影響	平成 15 年 2 月～ 平成 18 年 11 月
井伊博行	和歌山大学システム工学部	教授	水の起源の調査	平成 15 年 4 月～ 平成 18 年 11 月
楊大文	清華大学水利水電工程系	教授	流域水循環モデル	平成 17 年 4 月～ 平成 18 年 11 月

④土砂輸送グループ(高濃度土砂輸送機構解明・河床変動推定の研究)

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
橋本晴行	九州大学大学院工学研究院	助教授	土砂輸送モデル	平成 13 年 12 月～ 平成 18 年 11 月
朴崎チャン	九州大学大学院工学研究院	助手	土砂輸送実験	平成 13 年 12 月～ 平成 18 年 3 月
池松伸也	九州大学大学院工学府	技官	黄河中流支川の河道地形特性	平成 14 年 7 月～ 平成 18 年 11 月
高岡広樹	八千代エンジニアリング(株)	技師	黄河中流支川の河道地形特性と土砂流出	平成 14 年 7 月～ 平成 18 年 11 月
大本照憲	熊本大学大学院自然科学研究科	助教授	土砂輸送解析	平成 13 年 12 月～ 平成 18 年 11 月
崔志英	熊本大学大学院自然科学研究科	修士課程学生	高濃度流の乱流構造および抵抗則	平成 14 年 7 月～ 平成 18 年 11 月
全炳徳	長崎大学教育学部	助教授	土砂輸送解析	平成 13 年 12 月～ 平成 18 年 11 月
上野賢仁	崇城大学工学部	助教授	土砂流出解析	平成 13 年 12 月～ 平成 18 年 11 月

⑤流出・水資源モデル I グループ(流域水循環モデル構築と水資源配分の研究)

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
楊大文*	東京大学大学院工学系研究科	助教授	流域水循環モデル	平成 13 年 12 月～ 平成 16 年 7 月

李チュウ	東京大学大学院 工学系研究科	CREST 研究員	流域水循環モデリング 及び水資源解析と評価	平成 14 年 7 月～ 平成 16 年 6 月
谷澤寛	東京大学大学院 工学系研究科	修士課程学生	流域水循環モデル	平成 14 年 3 月～ 平成 15 年 3 月
玉本学也	東京大学生産技 術研究所	修士課程学生	水収支法による黄河断 流現象の解明	平成 15 年 7 月～ 平成 15 年 10 月
Roberto Nino	東京大学大学院 工学系研究科	修士課程学生	流域水循環モデル	平成 14 年 3 月～ 平成 15 年 10 月
Boussetta Souhail	東京大学大学院 工学系研究科	博士課程学生	気候変動と黄河の水資 源	平成 15 年 4 月～ 平成 16 年 7 月
Ahmad Bashir	東京大学大学院 工学系研究科	博士課程学生	黄河上流域の積雪変化 および融雪流出モデル	平成 15 年 4 月～ 平成 16 年 7 月
Lu Hui	東京大学大学院 工学系研究科	博士課程学生	黄河流域における陸面 モデルの開発	平成 16 年 1 月～ 平成 16 年 7 月

⑥流出・水資源モデルグループⅡ(流域水循環モデル構築と水資源配分の研究)

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
竹内邦良	山梨大学大学院医学 工学総合研究部	教授	流域水・物質輸送モデ ル	平成 13 年 12 月～ 平成 18 年 11 月
石平博	山梨大学大学院医学 工学総合研究部	助教授	流域水・物質輸送モデ ル	平成 13 年 12 月～ 平成 18 年 11 月
平林由希子	山梨大学大学院医学 工学総合研究部	助手	流域水・物質輸送モデ ル	平成 16 年 4 月～ 平成 18 年 11 月
馬籠純	山梨大学大学院医学 工学総合研究部	COE 特別研究 員	流域水・物質輸送モデ ル	平成 14 年 2 月～ 平成 18 年 11 月
周買春	山梨大学大学院医学 工学総合研究部	COE 特別研究 員	流域水・物質輸送モデ ル	平成 15 年 2 月～ 平成 18 年 11 月
陳亜寧	山梨大学大学院医学 工学総合研究部	日本学術振興 会特別研究員	流域水・物質輸送モデ ル	平成 17 年 1 月～ 平成 17 年 8 月
王国強	山梨大学大学院医学 工学総合研究部	COE 博士課程 学生	流域水・物質輸送モデ ル	平成 17 年 1 月～ 平成 18 年 11 月
Hap Hapuarachchi	ICHARM 水災害国際 マネジメントセンター	研究員	流域水・物質輸送モデ ル	平成 17 年 1 月～ 平成 18 年 11 月

徐宗学	北京師範大学資源環境学院水科学研究所	教授	流域水・物質輸送モデル	平成13年12月～平成18年11月
張新華	四川大学高速水力学国家重点実験室	副教授	流域水・物質輸送モデル	平成14年2月～平成18年11月
張祥偉	中国水利部規画計画司	副処長	流域水・物質輸送モデル	平成14年2月～平成18年11月

⑦流域水マネジメントⅠグループ(水資源需給将来予測の研究)

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
井村秀文	名古屋大学大学院環境学研究科	教授	経済活動と水資源需給モデルの開発	平成13年12月～平成18年11月
奥田隆明	名古屋大学大学院環境学研究科	助教授	地域経済モデル	平成14年4月～平成18年3月
森杉雅史	名古屋大学大学院環境学研究科	助手	地域経済モデル	平成14年1月～平成15年3月
白川博章	名古屋大学大学院環境学研究科	助手	水資源と経済・食糧生産の関係性のモデル化	平成17年1月～平成18年11月
方偉華	名古屋大学大学院環境学研究科	CREST 研究員	GIS データ整備・土地利用解析	平成14年1月～平成18年3月
張光輝	名古屋大学大学院環境学研究科	CREST 研究員	水資源と土壌浸食による気候変動影響・対策	平成14年9月～平成15年8月
澤津直也	名古屋大学大学院環境学研究科	CREST 研究員	地域経済モデル・水資源需給モデルの開発	平成15年9月～平成16年3月
岡村実奈	名古屋大学大学院環境学研究科	CREST 研究員	地域経済モデル・水資源需給モデルの開発	平成16年4月～平成17年3月
網屋香	名古屋大学大学院環境学研究科	研究補助員	汚水利用のリスク	平成14年1月～平成15年3月
種蔵史典	名古屋大学大学院環境学研究科	博士前期課程学生	産業連関・経済モデル	平成14年4月～平成15年3月
小川茂	名古屋大学大学院環境学研究科	博士前期課程学生	農業部門の水資源需給	平成14年4月～平成15年3月
中山絵理	名古屋大学大学院環境学研究科	研究補助員	汚水利用のリスク	平成14年9月～平成15年3月

小澤亮輔	名古屋大学大学院環境学研究科	博士前期課程学生	農業部門の水資源需給	平成15年1月～平成16年3月
吉川拓未	名古屋大学大学院環境学研究科	博士前期課程学生	社会経済・土地利用データベース構築	平成15年4月～平成16年3月
園田益史	名古屋大学大学院環境学研究科	博士前期課程学生	流域GISの構築	平成16年4月～平成18年3月
古川将大	名古屋大学大学院環境学研究科	博士前期課程学生	食糧生産	平成16年4月～平成17年3月
幡野貴之	名古屋大学大学院環境学研究科	博士後期課程学生	水資源CGモデル構築、水制約化の地域生産	平成16年4月～平成18年3月
韓驥	名古屋大学大学院環境学研究科	博士後期課程学生	排水マネジメント	平成17年4月～平成18年11月
石峰	名古屋大学大学院環境学研究科	研究補助員	都市における水環境	平成17年4月～平成18年11月
曹 Xin	名古屋大学大学院環境学研究科	博士後期課程学生	GIS データ整備・土地利用解析	平成18年4月～平成18年11月
野田真一郎	名古屋大学大学院環境学研究科	研究補助員	水資源CGモデル構築、水制約化の地域生産	平成18年4月～平成18年11月
松本亨	北九州市立大学国際環境工学部	助教授	都市生活用水と上下水道	平成13年12月～平成15年3月
谷川寛樹	和歌山大学システム工学部	講師	流域GISの構築	平成13年12月～平成15年3月
大西暁生	総合地球環境学研究所	プロジェクト上級研究員	農業生産構造、食糧需給の将来予測	平成15年4月～平成18年11月
金子慎治	広島大学大学院国際協力研究科	助教授	水資源需給モデル	平成13年12月～平成18年11月
田中勝也	広島大学大学院国際協力研究科	助手	SWAT モデルによる水量・水質シミュレーション	平成17年1月～平成18年11月
小鷹狩聡	広島大学大学院国際協力研究科	修士課程学生	水資源と経済・食糧生産の関係性のモデル化	平成14年10月～平成16年3月
藤井秀道	広島大学大学院国際協力研究科	研究補助員	家庭部門水消費量の経済分析	平成16年6月～平成18年11月

豊田知世	広島大学大学院 国際協力研究科	博士課程学生	中国農業と農業用水の 効率性	平成16年9月～ 平成18年11月
馬奈木俊介	東京農工大学生物ス テム応用科学教育部	助教授	地域と水の経済モデル	平成17年1月～ 平成18年11月
塚谷恒雄	京都大学経済研 究所	教授	流域の水と経済関係分 析	平成13年12月～ 平成18年11月
パウロ・シャベ ル	京都大学大学院 工学研究科	博士後期課程 学生	流域の水と経済関係分 析	平成14年4月～ 平成18年3月
ナデル・ゴトビ	京都大学大学院 工学研究科	日本学術振興 会特別研究員	流域の水と経済関係分 析	平成18年4月～ 平成18年11月

5 招聘した研究者等

氏名(所属、役職)	招聘の目的	滞在先	滞在期間
郭慶超(中国水利水電科学 院、研究員)	研究調査協力	山梨大学工学部土木環 境工学科	H14.02.13～03.30
方紅衛(精華大学、教授)	第4回黄河研究会 に参加	東京大学大学院工学系 研究科	H14.10.11～13
楊詩秀(精華大学、教授)	第4回黄河研究会 に参加	東京大学大学院工学系 研究科	H14.10.10～15
賀文君(中国農業科学院、助 教授)	第4回黄河研究会 に参加	東京大学大学院工学系 研究科	H14.10.10～12
姫宝霖(内モンゴ農業大学、教 授)	第4回黄河研究会 に参加	東京大学大学院工学系 研究科	H14.10.09～15
王晓昌(西安建築科技大学、 教授)	第4回黄河研究会 に参加	東京大学大学院工学系 研究科	H14.10.10～13
劉昌明(北京師範大学、教授)	第4回黄河研究会 に参加	東京大学大学院工学系 研究科	H14.10.10～13
毛継新(中国水利水電科学 院、主任研究員)	研究調査協力	山梨大学工学部土木環 境工学科	H15.02.03～03.31
王兆印(精華大学、教授)	研究打合せ	九州大学大学院工学研 究院	H15.02.06～11
方紅衛(精華大学、教授)	研究打合せ	九州大学大学院工学研 究院	H15.02.06～09
劉俊(内モンゴ自治区地方病防 治研究所、所長)	研究打合せ	産業医科大学産業生態 科学研究所	H15.02.08～13
胡和平(精華大学、教授)	研究打合せ	東京大学大学院工学系 研究科	H15.03.12～21
郭小娟(中国内モンゴ自治区地 方病防治研究所、教授)	研究調査協力	産業医科大学産業生態 科学研究所	H15.08.24～12.06
袁東良(中国黄河水利委員 会、水文局水文観測所所長)	第1回黄河国際ワー クショップにて講演	九州大学大学院工学研 究院、東京大学大学院工 学系研究科	H15.09.04～12

徐宗学(北京師範大学、教授)	第2回黄河国際ワークショップに参加	九州大学大学院工学研究院、山梨大学大学院医学工学総合研究部	H16.02.01~12
楊志峰(北京師範大学、教授)	第2回黄河国際ワークショップにて講演	九州大学大学院工学研究院	H16.02.01~06
趙文謙(四川大学、教授)	研究打合せ	山梨大学大学院医学工学総合研究部	H16.02.10~17
李暢游(内蒙古農業大学、学長)	農業土木学会/C REST合同ワークショップに参加	総合地球環境学研究所 岡山大学環境理工学部 岐阜大学農学部	H16.02.19~27
劉占強(内蒙古河套灌区管理局、高級工程師)	農業土木学会/C REST合同ワークショップに参加	総合地球環境学研究所 岡山大学環境理工学部 岐阜大学農学部	H16.02.19~27
肖飛(内蒙古科学技術協会、国際部部長)	農業土木学会/C REST合同ワークショップに参加	総合地球環境学研究所 岡山大学環境理工学部 岐阜大学農学部	H16.02.19~27
王忠静(清華大学、教授)	研究打合せ	東京大学大学院工学系研究科	H16.03.21~27
沈言琍(清華大学、助教授)	研究打合せ	東京大学大学院工学系研究科	H16.06.05~11
楊大文(清華大学、教授)	第3回黄河国際ワークショップに参加	九州大学大学院工学研究院	H16.09.11~15
林而達(中国農業科学院、教授)	第3回黄河国際ワークショップにて講演	九州大学大学院工学研究院	H16.09.11~15
劉昌明(北京師範大学/中国科学院、教授・院士)	第3回黄河国際ワークショップにて講演	九州大学大学院工学研究院	H16.09.11~15
馮広志(中国灌区協会、会長)	第3回黄河国際ワークショップにて講演	九州大学大学院工学研究院	H16.09.11~17
王浩(中国水利水電科学院、水資源研究所所長)	第3回黄河国際ワークショップにて講演	九州大学大学院工学研究院	H16.09.11~15
敖天其(四川大学、助教授)	研究打合せ	山梨大学大学院医学工学総合研究部	H16.10.17~23
楊大文(清華大学、教授)	第10回黄河研究会および領域ワークショップに参加	東京都	H17.01.04~08
史海濱(内蒙古農業大学、教授)	CREST/地球研合同ワークショップに参加	総合地球環境学研究所 岡山大学環境理工学部	H17.02.28~03.08
呂志遠(内蒙古農業大学、教授)	CREST/地球研合同ワークショップに参加	総合地球環境学研究所 岡山大学環境理工学部	H17.02.28~03.08
Qi Wei(中国水利水電科学院、研究員)	山梨大学との共同研究	山梨大学大学院医学工学総合研究部	H17.03.03~31
楊大文(清華大学、教授)	第11回黄河研究会にて研究発表	九州大学大学院工学研究院	H17.06.07~09
張 Li(西安建築科技大学、講師)	九州大学との共同研究	九州大学大学院工学研究院	H17.06.25~07.23

林金輝(西安建築科技大学、修士課程学生)	九州大学との共同研究	九州大学大学院工学研究院	H17.06.25～07.23
CAI Jianyuan(中国水利部、副局長)	アジア水循環シンポジウムに参加	東京大学	H17.10.31～11.05
HE Hui(中国水利部、副部長)	アジア水循環シンポジウムに参加	東京大学	H17.10.31～11.05
劉昌明(北京師範大学/中国科学院、教授・院士)	アジア水循環シンポジウムに参加	東京大学	H17.11.01～11.05
楊大文(清華大学、教授)	アジア水循環シンポジウムに参加	東京大学	H17.10.31～11.05
楊大文(清華大学、教授)	第12回黄河研究会にて研究発表	東京都	H18.01.10～14
郭慶超(中国水利水電科学研究院・教授)	山梨大学との共同研究	山梨大学大学院医学工学総合研究部	H18.02.15～03.31
谷源沢(中国水利部黄河水利委員会、副局長)	第4回黄河国際ワークショップにて講演	九州大学大学院工学研究院	H18.05.25～30
劉曉岩(中国水利部黄河水利委員会、高級工程師)	第4回黄河国際ワークショップにて講演	九州大学大学院工学研究院	H18.05.25～30
王曉昌(西安建築科技大学、教授)	第4回黄河国際ワークショップにて講演	九州大学大学院工学研究院	H18.05.26～30
嚴昌榮(中国農業科学院、教授)	第4回黄河国際ワークショップに参加	九州大学大学院工学研究院	H18.05.28～31
王維真(中国科学院、副教授)	第4回黄河国際ワークショップに参加	九州大学大学院工学研究院	H18.05.27～31
楊大文(清華大学、教授)	第4回黄河国際ワークショップに参加	九州大学大学院工学研究院	H18.05.26～30

6 成果発表等

《CREST研究に係わるものを全て記載。発行日等の順に並べてください。また公開に支障があるものは「その他 △件」としてまとめ、別紙の「非公開用報告書」に記載してください。》

(1)原著論文発表 (国内誌 62 件、国際誌 16 件)

国内誌

1. Zhang. X., Takeuchi. K. and H. Ishidaira, On Spatial Discretization Scale to Avoid Spurious Oscillations in FEM Solutions of 2D and Quasi-3D Groundwater Flow Models, 水工学論文集, no.46, pp.193-198, Feb, 2002
2. 徐宗学, 竹内邦良, 石平博, 日本の平均気温・降水量時系列におけるジャンプ及びトレンドに関する研究, 水工学論文集, no.46, pp.121-126, Feb, 2002
3. 馬籠純, 金丸茂男, 竹内邦良, 石平博, ダム貯水池による河川水の流域内滞留時間の変化に関する検討, 水工学論文集, no.46, pp.295-300, Feb, 2002
4. 橋本晴行, 池松伸也, 高岡広樹, 塩山茂孝, 高濃度流れの流動機構と抵抗則に関する研究,

- 流体力の評価とその応用に関する研究論文集, vol.2, Jan, 2003
5. 久米崇, 天谷孝夫, 三野徹, 内蒙古河套灌区における土壌塩類化対策の効果, 農業土木学会論文集, no.223, pp.133-139, Feb, 2003
 6. 劉霞, 天谷孝夫, 赤江剛夫, 西村直正, 遠心法による凍土および未凍土の不飽和透水係数測定, 農業土木学会論文集, no.223, pp.39-46, Feb, 2003
 7. Zhang, X., Takeuchi, K. and H. Ishidaira, Geostistical Applications to the Estimation of Unconfined and Confined Groundwater Heads in Quasi-3D Groundwater Flow Modeling in Kofu Basin, 水工学論文集, pp.289-294, Mar, 2003
 8. Wang, L., and T. Akae, Estimation of Unfrozen Water Content by Time Domain Reflectometry Measurements in Frozen Soils, 農業土木学会論文集, no.224, pp.89-95, Apr, 2003
 9. 久米崇, 長野宇規, 渡邊紹裕, 三野徹, 電磁誘導法による均質土壌の塩分濃度測定法, 農業土木学会論文集, no.227, pp.105-111, Oct, 2003
 10. Fang, W., and H. Imura, Comparison of Empirical Pet estimation Methods in the Yellow River Basin, 第31回環境システム研究論文集, vol.31, Oct, 2003
 11. 白川博章, 金子慎治, 小鷹狩聡司, 中国における工業用水の価格弾力性の推計, 第14回国際開発学会全国大会報告論文集, pp.200-205, Nov, 2003
 12. Iwanaga, R., Yasutake, D., Kobayashi, T., He, W., Watanabe, E. and W. Wang, A survey of the growth of corn in a JST experimental field in the Yellow River basin, China, Kyushu Journal of Agriculture eteorology, ser. 2, no.12, pp.13-16, Nov, 2003
 13. Watanabe, E., Wang, W., Kobayashi, T., Chow, H., He, W. and N Mohri, Measuring soil solution electrical conductivity using TDR at a JST experimental field in the Yellow River basin in Inner Mongolia, China, Kyushu Journal of Agricultural eteorology, ser. 2, no.12, pp.17-22, Nov, 2003
 14. Mohri, N., Kobayashi, T., He, W. and R. Iwanaga, A survey of soil salinity distribution in a JST experimental field in the Yellow River basin, China, Kyushu Journal of Agricultural eteorology, ser.2, no.12, pp.45-46, Nov, 2003
 15. 東修, 楠田哲也, 王晓昌, 井上和久, 尾崎心平, 馬場啓輔, 西安市の水利用及び汚染物質負荷過程の解明, 環境工学研究論文集, vol.40, pp.171-181, Nov, 2003
 16. 馬籠純, 竹内邦良, 平野順子, 石平博, 大規模貯水池における貯水量変化の衛星モニタリング, 水工学論文集, vol.48(1), pp.103-108, Feb, 2004
 17. Zhang, X., Ishidaira, H., and K. Takeuchi, Simulation the Effects of High Sediment-laden Inundation Flow on the Variations of Floodplain in the Lower Yellow River Basin, 水工学論文集, vol.48(1), pp.595-600, Feb, 2004
 18. 橋本晴行, 高岡広樹, 池松伸也, 全炳徳, 上野賢仁, 黄河中流域における河道堆積土砂調査と高濃度流れの水路実験, 水工学論文集, vol.48(1), pp.943-948, Feb, 2004
 19. 劉霞, 天谷孝夫, 赤江剛夫, 西村直正, 凍土中における温度勾配下の水分の上昇移動, 農業土木学会論文集, no.230, pp.21-28, Apr, 2004

20. Wang, W., Kobayashi, T., Chou, H., Mori, M., Watanabe, E. and Iwanaga, R, An experiment on the spatial variability of water balance terms in a small grass-covered area, Journal of Japan Society of Hydrology & Water Resources, vol.17, no.3 (2004), pp.264-273, Apr, 2004
21. 大本照憲, 崔志英, 柿原ゆり, 高濃度土砂流の抵抗特性について(On rheology of hyperconcentrated sediment-laden flow), 土木学会応用力学論文集, vol.7, pp.943-950, Aug, 2004
22. 安武大輔, 岩永理佐, 小林哲夫, 黄河流域のトウモロコシ灌漑農地における生体調査, 気象利用研究, no.17, pp.32-35, Aug, 2004
23. 幡野貴之, 奥田隆明, 省市レベルの地域間産業連関表を用いた中国国内の仮想水分析ー黄河流域を中心にしてー, 環境システム研究論文集, vol.32, pp.1-11, Oct, 2004
24. 久米崇, 長野宇規, 渡邊紹裕, 三野徹, 除塩灌漑に伴う排水不良農地の土壌塩分分布変動, 農業土木学会論文集, no.233, pp.21-28, Oct, 2004
25. Wang, L., and T. Akae, Analysis of ground freezing process by unfrozen water content obtained from TDR data in Hetao Irrigation District of China(中国河套灌区における TDR で測定した不凍水量による土壌の凍結過程の解析), 土壌の物理性, no.98, pp.11-19, Nov, 2004
26. 東修, 楠田哲也, 王晓昌, 楊大文, 井上和久, 尾崎心平, 柴田勝史, 水文・水質統合モデルを用いた渭河流域内都市域水質汚濁状況の解明, 環境工学研究論文集, vol.41, pp.693-700, Nov, 2004
27. 馬場啓輔, 楠田哲也, 王晓昌, 楊大文, 東修, 尾崎心平, 柴田勝史, EPIC による渭河流域の穀物生産評価と食糧安全保障の検討, 環境工学研究論文集, vol.41, pp.659-664, Nov, 2004
28. Iwanaga, R., Yasutake, D., Kobayashi, T., Wang, W. and W. He, Growth of Corn and Hydrological Environments in the Togtoh Experimental Field in the Yellow River Basin, China, Kyushu Journal of Agricultural Meteorology, ser.2, no.13, pp.7-12, Dec, 2004
29. 赤江剛夫, 宇野徹, 史海濱, 李延林, 内蒙古河套灌区における灌漑水から農地土壌、地下水、排水路水にいたる経路での陽イオン組成の変化, 農業土木学会論文集, no.234, pp.79-87, Dec, 2004
30. 楊大文, 李 Chong, 倪広恒, 胡和平, 分布型水文モデルを用いた黄河流域水資源評価の不確定性の分析, 水問題の複雑性・不確定性の研究と進展ー中国水問題研究フォーラム第2期学術シンポジウム論文集, pp.108-116, Dec, 2004
31. 久米崇, 長野宇規, 渡邊紹裕, 三野徹, 排水不良農地における不均一塩分分布の形成要因, 農業土木学会論文集, no.234, pp.19-25, Dec, 2004
32. 王維真, 渡辺江梨子, 小林哲夫, 長裕幸, 賀文君, 毛利周子, A Method for Measuring Soil Solution Electrical Conductivity in the Field Using TDR, 水文水資源学会誌, vol.18, no.1, pp.55-63, Jan, 2005
33. 平林由希子, 鼎信次郎, 沖大幹, 20 世紀の世界陸域水文量の長期変動, 水工学論文集、第 49 巻、pp.409-414, Feb, 2005

34. 平野順子, 馬籠純, 石平博, 竹内邦良, グローバルダム貯水池データベースの構築, 水工学論文集, 第 49 巻, pp.385-390, Feb, 2005
35. 北原健司, 菅原琢磨, 馬籠純, 竹内邦良, 石平博, GIS および分布型流出モデルを用いた流域内の汚濁物質輸送過程の検討, 水工学論文集, 第 49 巻, pp.1585-1590, Feb, 2005
36. Oue, H., Toshiyuki, T., Ikawa, H., and K. Takase, Micrometeorological Model for Estimating Evapotranspiration from an Irrigated Maize Field in the Hetao Irrigation District in the Yellow River Basin, Journal of Agricultural Meteorology, vol.60, no.5, pp.537-540, Feb, 2005
37. Toshiyuki, T., Oue, H., and K. Takase, Micrometeorological Model for Estimating Evaporation from a Bare Field in the Hetao Irrigation District in the Yellow River Basin, Journal of Agricultural Meteorology, vol.60, no.5, pp.541-544, Feb, 2005
38. Yasutake, D., Kitano, M., Hidaka, K., He, W., and T. Kobayashi, A Method for in Situ Evaluation of Transpirational Water Loss from Crop Field by Applying Abscisic Acid to Plants, J. Agric. Meteorol. (農業気象), vol.60(6), pp.1117-1120, Apr, 2005
39. 大本照憲, 崔志英, 非ニュートン流体特性に着目した砂堆河床上の高粘性流れについて, 応用力学論文集, vol.8, pp.855-864, Aug, 2005
40. Ikegami, D., Kobayashi, T., Yasutake, D., and M. Mori, Energy Budgets and Thermal Environments over an Irrigated Cornfield in an Oasis in a Semi-Arid Region, China, Kyushu Journal of Agricultural Meteorology, no.II-14, pp.9-14, Nov, 2005
41. Kaneko, T., Kobayashi, T., Wang, W., He, W., and H. Cho, Evaporation from a Frozen Soil Surface in an Oasis in Inner Mongolia, China, Kyushu Journal of Agricultural Meteorology, no.II-14, pp.15-20, Nov, 2005
42. Fang, W., and H. Imura, The spatial and temporal changes of pan evaporation from 1971 to 2000 in the Yellow River basin, 第 33 回環境システム研究論文集, vol.33, pp.165-171, Nov, 2005
43. 井村秀文, 大西暁生, 岡村実奈, 方偉華, 黄河流域の縣市別データに基づく水資源需給空間構造の把握に関する研究, 第 33 回環境システム研究論文集, vol.33, pp.477-487, Nov, 2005
44. 大西暁生, 井村秀文, 韓驥, 方偉華, 黄河流域の地域別穀物生産性の変化に関する研究, 第 33 回環境システム研究論文集, vol.33, pp.79-89, Nov, 2005
45. Iwanaga, R., Kobayashi, T., and et al., Evaluating the Irrigation Requirement at a Cornfield in the Yellow River Basin Based on the "Dynamic Field Capacity", 水文水資源学会誌, vol.18, no.6, pp.663-673, Dec, 2005
46. 東修, 楠田哲也, 王晓昌, 楊大文, 尾崎心平, 馬場啓輔, 柴田勝史, 渭河流域における水量水質統合モデルの開発と供給可能水量の将来予測, 環境工学研究論文集, 第 42 回環境工学研究フォーラム(土木学会)(鳥取県), vol.42, pp.111-118, Dec, 2005
47. 邊見充, 楠田哲也, 王晓昌, 東修, 馬場啓輔, 西安市の都市河川における汚濁物質流出過程の解明と節水システム導入効果の検討, 環境工学研究論文集, 第 42 回環境工学研究フォー

- ーラム(土木学会)(鳥取県), vol.42, pp.119-128, Dec, 2005
48. Fang, W., and H. Imura, Wheat Irrigation Water Requirement Variability (2001~2030) in the Yellow River Basin under HADCM3 GCM Scenarios, 環境科学会誌, vol.19, pp.3-10, Jan, 2006
 49. Kobayashi, T., Wang, W., Ikawa, Y., Cho, H., and W. He, An Easily Measurable and Practicable Index of Soil Salinity, 水文水資源学会誌, vol.19, no.3, pp.183-188, May, 2006
 50. Teshima, J., Hirayama, Y., Kobayashi, T., and H. Cho, Estimating Evapotranspiration from a Small Area on a Grass-Covered Slope Using the BBH Model of Soil Hydrology, 農業気象, vol.62(2), pp.65-74, Jun, 2006
 51. 崔志英, 大本照憲, 古賀聖, 非ニュートン流体特性を有する高濃度土砂流の抵抗特性, 応用力学論文集, vol.9, pp.883-892, Jun, 2006
 52. Wang, W., Kobayashi, T., Cho, H. and W. He, Simultaneous and continuous measurement of soil water content and solution electrical conductivity in an irrigated cornfield using TDR, J. Japan Soc. Hydrol. & Water Resour, vol.19, no.5, Sep, 2006
 53. Yang, D., Sun, F., Liu, Z., Lei, Z., and Z. Cong, Interpreting the complementary relationship in non-humid environments based on the Budyko and Penman hypotheses, Geophysical Research Letters, vol.33, doi:10.1029/2006GL027657, Sep. 2006
 54. 大西暁生, 井村秀文, 白川博章, 韓驥, 黄河流域水資源需給の時間・空間構造の把握に関する研究, 第33回環境システム研究論文集, vol.34, Oct. 2006
 55. Han, J., Onishi, A., Shirakawa, H., and H. Imura, An analysis of population migration and its environmental impacts in China: Application to domestic water use, 第33回環境システム研究論文集, vol.34, Oct. 2006
 56. 園田益史, 大西暁生, 白川博章, 井村秀文, 食料需要モデルを利用した黄河流域の農業用水消費に関する研究, 第33回環境システム研究論文集, vol.34, Oct. 2006
 57. Cao, X., Fang, W., and H. Imura, Detecting the changes of Fenhe River channel by unmixing LANDSAT imagery, 第33回環境システム研究論文集, vol.34, Oct. 2006
 58. Kaneko, T., Kobayashi, T., Wang, W., He, W., and H. Cho, An evaluation of the overwinter loss of the water irrigated in late autumn in the upper reach of the Yellow River, J. Japan Soc. Hydrol. & Water Resour, vol.19, no.6, Nov. 2006
 59. Sun, F., Yang, D., Liu, Z., Cong, Z., and Z. Lei, Coupled water-energy balance in the Yellow River basin using the Budyko Hypothesis, 水利学報(中国), Dec. 2006
 60. Lei, H., Yang, D., Shen, Y., Miyazaki, S., Kanae, S., Feng, B., and X. Liu, Observations and analysis of the energy flux and water exchange in the Weishan Irrigation District along the downstream of the Yellow River, 清華大学学报(中国), Dec. 2006
 61. Xu, J., Yang, D., Liu, Z., and Z. Lei, Development of a large scale distributed hydrological model and its application to the upstream of the Yangtze River, 水利学報(中国), Dec. 2006
 62. 渡邊紹裕, 星川圭介, 黄河流域の大型灌区の農業用水利用, 砂漠研究, vol.16. no.2, 2006

国際誌

1. K.Takeuchi, Flood Management in Japan-From Rivers to Basins, Water International, Mar, 2002
2. Xu, Z., Takeuchi, K., Ishidaira, H. and X. Zhang, Sustainability analysis for Yellow River water resources using the system dynamics approach, Water Resour. Mgmt, no.16, pp.239-261, Jun, 2002
3. Guo, X., Fujino, Y., Chai J., Wu, K., Xia, Y., Li, Y., Lv, J., Sun. Z., and T. Yoshimura, The Prevalence of Subjective Symptoms after Exposure to Arsenic in Drinking Water in Inner Mongolia, China, Journal of Epidemiology, vol.13, pp.211-215, Jul, 2003
4. Yang, D., and K. Musiake, A continental scale hydrological model using distributed approach and its application to Asia, Hydrological Processes, vol.17, issue.14, pp. 2855-2869, Oct, 2003
5. Yang, D., Kanae, S., Oki, T., Koike, T., and K. Musiake, Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes, Hydrological Processes, vol.17, issue.14, pp. 2913-2928, Oct, 2003
6. Yang, D., Li, C., Ni, G., and H. Hu, Application of a distributed hydrological model to the Yellow River basin, 地理学報 (Acta Geographica Sinica), vol.59, no.1, pp.143-154, Jan, 2004
7. Fujino, Y., Guo, X., Liu, J., Matthews, I P., Shirane, K., Wu, K., Kasai, H., Miyatake, M., Tanabe, K., Kusuda, T., and T. Yoshimura, Chronic arsenic exposure and urine 8-Hydroxy-2'-deoxyguanosine in an arsenic-affected area in Inner Mongolia, China, Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, advance online publication, doi: 10.1038/sj.jea.7500381, May, 2004
8. Yang, D., Li, C., Hu, H., Lei, Z., Yang, S., Kusuda, T., Koike, T., and K. Musiake, Analysis of water resources variability in the Yellow River basin during the last half century using the historical data, Water Resources Research, vol.40, W06502(1-12), Jun, 2004
9. Fujino, Y., Guo, X., Liu, J., You, L., You, L., Miyatake, M., Yoshimura, T., and Japan Inner Mongolia Arsenic Pollution (JIAMP) Study Group, Mental health burden amongst inhabitants of an arsenic - affected area in Inner Mongolia, China, Social Science & Medicine, Vol.59, pp.1969-1973, Nov, 2004
10. 楊大文, 倪広恒, 雷志棟, 楊詩秀, 大流域の分布型水文モデル及び黄河流域への適用, 中国水文科学与技術研究進展--全国水文学術討論會論文集, 河海大学出版社(中国語), pp.215-223, Dec, 2004
11. Kaneko, S., Tanaka, K., Toyota, T., and S. Managi, Water Efficiency of Agricultural Production in China: Regional Comparison from 1999 to 2002, Int, J. Agricultural Resources, Governance and Ecology, vol.3, no.3/4, pp.231-251, 2004
12. Yang, D., Ni, G., Kanae, S., Li, C. and T. Kusuda, Water resources variability from the past to

future in the Yellow River of China, IAHS publication, no.295, pp.174-182, Apr, 2005

13. Zhou, M. C., Ishidaira, H., and K. Takeuchi, Estimation of Potential Evapotranspiration over the Yellow River Basin: Reference Crop Evaporation or Shuttleworth - Wallace?, Hydrological Processes, Published Online: 15 Aug 2006, DOI:10.1002/hyp.6339, Aug, 2006
14. Fujino, Y., Guo, X., Shirane, K., Liu, J., Wu, K., Miyatake, M., Tanabe, K., Kusuda, T., Yoshimura, T., and Japan Inner Mongolia Arsenic Pollution Study Group, Arsenic in drinking water and peripheral nerve conduction velocity among residents of a chronically arsenic-affected area in Inner Mongolia, Journal of Epidemiology, vol.16, no.5, pp.207-213, Sep, 2006
15. Kitano, M., Yasutake, D., Kobayashi, T., Hidaka, K., Wajima, T., Wang, W., and W. He, Dynamics of water and ion transport driven by corn canopy in the yellow river basin, Biologia, Bratislava, vol.61, suppl.19, Sep, 2006
16. Yasutake, D., Kitano, M., Kobayashi, T., Hidaka, K., Wajima, T., and W. He, Evaluation of canopy transpiration rate by applying plant hormone "abscisic acid", Biologia, Bratislava, vol.61, suppl.19, Sep, 2006

(2)その他の著作物(総説、書籍などを記載してください。)

1. 楊大文, 楠田哲也編著, 水資源総合評価模型及其在黄河流域的應用, 中国水利水電出版社(著書), May, 2005

(3)学会発表(国際学会発表及び主要な国内学会発表)

① 招待講演 (国内会議 0 件、国際会議 1 件)

1. 楠田哲也, **Sustainable water use in the Yellow River**, Chinese Academy of Engineering, Sep 24, 2006

② 口頭発表 (国内会議 71 件、国際会議 65 件)

口頭発表(国内会議)

1. 加藤丈明, 馬籠純, 竹内邦良, 石平博, 徐宗学, 分布型流出モデル BTOPMC を用いた黄河流域の流出解析の試み, 土木学会第 29 回関東支部技術研究発表会講演概要集, pp.264-265, Mar 14-15, 2002
2. 徐宗学, 竹内邦良, 石平博, 黄河流域における水需給リスク解析, 第6回水資源に関するシンポジウム, pp.1-6, Aug 2-3, 2002
3. 石平博, 馬籠純, 竹内邦良, 衛星画像・数値地形情報を用いた広域ダム貯水量のモニタリング手法, 第6回水資源に関するシンポジウム, pp. 716-721, Aug 2-3, 2002
4. 王麗萍, 赤江剛夫, TDRによる現地測定凍土中の未凍結水分量の推定, 平成 14 年度農業土木学会講演会講演要旨集, pp.360-361, Aug 8, 2002
5. 劉霞, 赤江剛夫, 天谷孝夫, 西村直正, 遠心法による凍土の不飽和透水係数の測定, 平成 14 年度農業土木学会大会講演会講演要旨集, pp.362-363, Aug 8, 2002

6. 久米崇, 渡邊紹裕, 三野徹, 内蒙古河套灌区におけるEM-38を用いた土壤塩類評価に関する一手法, 平成14年度農業土木学会講演会講演要旨集, pp.720-721, Aug 8, 2002
7. Yang, D., Koike, T., Musiaka, T., and T. Kusuda, Hydrological Modeling of the Yellow River Basin for Exploring Water Resources Management, 水文・水資源学会2002年研究発表会要旨集, pp.230-231, Aug 20, 2002
8. 藤野善久, 飲料水ヒ素汚染問題に関する疫学的考察ーマルアと内蒙古で得た印象, 第7回アジア地下水ヒ素汚染フォーラム(宮崎市), Oct 12-14, 2002
9. 小澤亮輔, 小川茂, 方偉華, 網屋香, 森杉雅史, 井村秀文, 中国黄河流域の農業生産と水資源配分に関する研究, 第30回環境システム研究論文発表会講演集/土木学会環境システム委員会(山梨大学), Oct 26, 2002
10. 網屋香, 小澤亮輔, 小川茂, 方偉華, 森杉雅史, 井村秀文, 大都市の水循環構造と資源配分に関する研究-中国北京市を例として-, 第30回環境システム研究論文発表会講演集/土木学会環境システム委員会(山梨大学), Oct 27, 2002
11. 劉霞, 赤江剛夫, 天谷孝夫, 西村直正, 凍土中における温度勾配下の水分上昇移動, 第41回農業土木学会土壤物理研究部会研究集会要旨集, pp.31-38, Nov 28, 2002
12. 小鷹狩聡司, 90年代の黄河流域における水需給バランス決定因子の空間構造とその変化に関する研究, 第13回国際開発学会全国大会, Nov 30, 2002
13. 馬場啓輔, 楠田哲也, 東修, 井上和久, 西安市周辺河川の汚濁負荷に関する基礎的研究, 平成14年度土木学会西部支部研究発表会(福岡県), Mar 8, 2003
14. 尾崎心平, 楠田哲也, 東修, 井上和久, 西安市の効果的水循環システム確立のための基礎的研究, 平成14年度土木学会西部支部研究発表会(福岡県), Mar 8, 2003
15. 藤野善久, 白根聖弓, 吉村健清, 飲料水慢性砒素暴露と酸化ストレスとの関連, 第26回日本がん疫学研究会(札幌), Jun 24, 2003
16. 赤江剛夫, 史海濱, 李延林, 内蒙古、河套灌区における灌漑農業と塩分集積問題, 農業土木学会大会講演会(那覇市), Jul 8, 2003
17. 劉霞, 天谷孝夫, 赤江剛夫, 西村直正, 凍土中における温度勾配下の水分・塩分の上昇移動, 農業土木学会大会講演会(那覇市), Jul 8, 2003
18. 田本敏之, 大上博基, 伊川浩樹, 高瀬恵次, 黄河流域河套灌区の灌漑トウモロコシ畑における蒸発散量の算定, 農業土木学会大会講演会(那覇市), Jul 9, 2003
19. 久米崇, 長野宇規, 渡邊紹裕, 三野徹, 電磁誘導法による土壤塩分濃度測定, 農業土木学会大会講演会(那覇市), Jul 10, 2003
20. Boussetta, S., Yang, D., and T. Koike, Global Scale Trend Estimation for Temperature and Precipitation, 水文・水資源学会(福岡), Jul 30, 2003
21. Zhou, M.C., Takeuchi, K., and H. Ishidaira, Spatial and Temporal Distribution Patterns of Potential Evaporation and Evapotranspiration at Mekong and Yellow River Basins, 水文・水資源学会(福岡), Aug 1, 2003
22. 工藤真, 竹内邦良, 石平博, MOPEX データを用いた流域特性と水文モデルパラメータとの関

- 連性の検討, 水文・水資源学会(福岡), Aug 1, 2003
23. 菅原琢磨, 北原健司, 石平博, 竹内邦良, GIS 解析に基づく流域内汚濁負荷量分布の検討, 水文・水資源学会(福岡), Aug 1, 2003
 24. 平野順子, 馬籠純, 相川まゆみ, 竹内邦良, 石平博, グローバルなダム貯水池データベースの構築, 水文・水資源学会(福岡), Aug 1, 2003
 25. 玉本学也, 楊大文, 小池俊雄, 過去 50 年間の水文データを用いた水収支法による黄河断流現象の解明, 水文・水資源学会(福岡), Aug 1, 2003
 26. 井上和久, 東修, 楠田哲也, 王晓昌, 水利用・管理に関する研究, 平成 15 年度土木学会全国大会(徳島市), Sep 26, 2003
 27. 谷村晋, 藤野善久, 郭小娟, Liu Jun, 白根聖弓, 宮武宗利, 田辺公子, 溝田勉, 楠田哲也, 吉村健清, 砒素汚染井戸封鎖による水汲負担増加量のシミュレーション評価, 第 44 回日本熱帯医学会・第 18 回日本国際保健医療学会合同大会(北九州市), Oct 1, 2003
 28. 郭小娟, 内モンゴルの砒素汚染調査より中国農民の現状を見る, 第 44 回日本熱帯医学会・第 18 回日本国際保健医療学会合同大会(北九州市), Oct 10, 2003
 29. 白根聖弓, 藤野善久, 郭小娟, 劉俊, 吉村健清, 楠田哲也, 中国内蒙古自治区における砒素汚染水飲用住民の末梢神経の問題, 第 44 回日本熱帯医学会・第 18 回日本国際保健医療学会合同大会(北九州市), Oct 12, 2003
 30. 田本敏之, 大上博基, 伊川浩樹, 高瀬恵次, 黄河流域河套灌区の蒸発散量の推定-ムギ畑における群落抵抗モデルの構築と検討-, 農業土木学会中国四国支部講演会(高知市), Oct 15, 2003
 31. 小澤亮輔, 小川茂, 方偉華, 井村秀文, 中国黄河流域の水資源需要将来予測に関する研究, 第 31 回環境システム研究論文発表会(北九州市), Oct 24-25, 2003
 32. 久米崇, 長野宇規, 渡辺紹裕, 三野徹, 多点観測による土壌塩分濃度分布解析, 農業土木学会 京都支部研究発表会, Nov 13, 2003
 33. 田本敏之, 大上博基, 伊川浩樹, 高瀬恵次, 黄河流域河套灌区の灌漑トウモロコシ畑における蒸発散量の算定, 日本農業気象学会中国四国支部大会(松山市), Nov 14, 2003
 34. 王麗萍, 赤江剛夫, TDRで推定した未凍結水分量による凍結融解過程の特徴について, 土壌物理学学会シンポジウム, Nov 22, 2003
 35. 柴田勝史, 尾崎心平, 東修, 楠田哲也, 渭河流域内の諸都市における水利用形態の解明, 平成15年度土木学会西部支部研究発表会(日本文理大学、大分市), Mar 6, 2004
 36. 石橋賢一, 尾崎心平, 東修, 楠田哲也, 鄭州市における水資源利用に関する基礎的研究, 平成15年度土木学会西部支部研究発表会(日本文理大学、大分市), Mar 6, 2004
 37. 吉村健清, 中国・内モンゴル砒素汚染地区疫学調査への GIS/GPS 技術の応用, 平成15年度日本衛生学会ワークショップ「GIS および GPS 技術の衛生学における応用」(東京都), Mar 25, 2004
 38. 幡野貴之, 奥田隆明, 中国・黄河流域における水配分に関する一般均衡分析 A CGE Analysis on Water Allocations in the Yellow River Basin in China, 土木学会第 29 回土木計画

- 学研究発表会(春大会)(神戸大学), Jun, 2004
39. 大西暁生, 小澤亮輔, 森杉雅史, 奥田隆明, 井村秀文, 西安市における流域水資源需給将来予測に関する研究, 土木学会第 12 回地球環境シンポジウム講演論文集, Aug, 2004
 40. 久米崇, 長野宇規, 渡邊紹裕, 三野徹, 多点塩分観測による除塩灌漑効果の検証, 農業土木学会大会講演会(札幌市), Sep 7, 2004
 41. Wang, L., and T. Akae, 中国内モンゴル河套灌区における冬季凍結融解中の液状水および塩分の挙動, 農業土木学会大会講演会(札幌市), Sep 8, 2004
 42. 小倉健一郎, 天谷孝夫, 中国内モンゴル達拉特旗の地下水依存農地における水利用実態, 農業土木学会大会講演会(札幌市), Sep 8, 2004
 43. 幡野貴之, 奥田隆明, 中国地域間産業連関表を利用した仮想水分析 Virtual Water Analysis Using China Multi-Regional Input-Output Tables, 土木学会第 59 回年次学術講演会(平成 16 年度全国大会)(愛知県), Sep, 2004
 44. 田本敏之, 大上博基, 高瀬恵次, Micrometeorological Model for Estimating Evaporation from a Bare Field in the Hetao Irrigation District in the Yellow River Basin, 農業気象学会(福岡市), Sep 6, 2004
 45. 王維真, 小林哲夫, 長裕幸, 賀文君, 灌漑圃場内における土壌塩度の季節変化と空間変動性, 気象利用研究会(佐賀市), Sep 4, 2004
 46. 金子武将, 小林哲夫, 王維真, 賀文君, 長裕幸, オアシスの灌漑畑における凍土層の発達・融解プロセス, 気象利用研究会(佐賀市), Sep 4, 2004
 47. 白川博章, 金子慎治, 生産関数に基づく中国における工業用水の経済的特性に関する研究, 環境経済・政策学会(広島大学), Sep 24, 2004
 48. 金子慎治, 小鷹狩聡司, 家計消費支出にみる中国都市住民のライフスタイル変化と環境的意味, 環境経済・政策学会(広島大学), Sep 25, 2004
 49. 田本敏之, 大上博基, 伊川浩樹, 高瀬恵次, 黄河流域河套灌区の灌漑ヒマワリ畑の蒸発散量の推定, 第 59 回農業土木学会・中国四国支部講演会(岡山市), Oct 13, 2004
 50. 藤野善久, Guo Xiaojuan, Liu Jun, 谷村晋, 白根聖弓, 宮武宗利, 田辺公子, 楠田哲也, 葛西宏, 吉村健清, 中国内モンゴルにおける飲料水砒素汚染の国際共同疫学研究, 第 15 回日本疫学会学術総会(滋賀県大津市), Jan 21-22, 2005
 51. 邊見充, 馬場啓輔, 東修, 楠田哲也, 西安市の都市河川における汚濁物質負荷課程の解明, 平成16年度土木学会西部支部研究発表会(九州大学、福岡市), Mar 5, 2005
 52. 与賀田隆史, 尾崎心平, 東修, 楠田哲也, 西安市の都市域拡大に伴う GDP 水需要動向の解明と都市の効果的な水資源配分手法の検討, 平成16年度土木学会西部支部研究発表会(九州大学、福岡市), Mar 5, 2005
 53. 藤井秀道, 金子慎治, 馬奈木俊介, 中国における環境効率改善の計測と評価: 工業用水の事例, 土木学会中国支部研究発表会(広島県呉市), May 21, 2005
 54. 赤江剛夫, 森本一幹, 河套灌区における灌漑水から排水に至る陽イオン組成の変化 Changes in cation composition of water in Hetao Irrigation Area, from irrigation to drainage,

- 農業土木学会大会講演会(岐阜), Aug 24, 2005
55. 劉霞, 赤江剛夫, 灌漑耕地から隣接塩害地への横浸透量の推定 Estimation of horizontal infiltration from irrigated land to adjacent saline land, 農業土木学会大会講演会(岐阜), Aug 24, 2005
 56. 久米崇, 長野宇規, Savgi Donma, Salim Kapur, 星川圭介, 渡邊紹裕, トルコアダナの土壤塩分分布のモニタリング結果, 農業土木学会大会講演会(岐阜), Aug 24, 2005
 57. Fang, W., and H. Imura, Comparison of publicly available DEM data products for water resources study in China, 環境科学会 2005 年会シンポジウム(名古屋市), pp.290.-291, Sep 8-9, 2005
 58. 大西暁生, 方偉華, 白川博章, 井村秀文, 黄河流域の月単位における県市別水資源需給モデルの構築に向けた基礎的研究, 環境科学会 2005 年会シンポジウム(名古屋市), pp.256-257, Sep 8-9, 2005
 59. 韓驥, 井村秀文, Challenges for Sustainable Water Resource Utilization in North China: A Perspective from the Case of Taiyuan City in the Fen River Basin, 環境科学会 2005 年会シンポジウム(名古屋市), pp.134-135, Sep 8-9, 2005
 60. 石峰, 大西暁生, 井村秀文, 汾河流域における水資源管理の調査報告, 環境科学会 2005 年会シンポジウム(名古屋市), pp.116-117, Sep 8-9, 2005
 61. 白川博章, 金子慎治, 中国における工業用水の経済的特性に関する研究, 環境科学会 2005 年会シンポジウム(名古屋市), pp.110-111, Sep 8-9, 2005
 62. 大上博基, 田本敏之, 久米崇, 赤江剛夫, 高瀬恵次, SPACモデルを用いた黄河流域河套灌区における蒸発散量分布の推定, 農業環境工学関連 7 学会 2005 年合同大会(金沢), Sep 12, 2005
 63. 賀斌, 王, 大上博基, 高瀬恵次, Micrometeorological Model for Estimating Evapotranspiration from a Wheat Field in the Hetao Irrigation District of Yellow River Basin, 農業土木学会中国・四国支部大会(高松), Oct 19, 2005
 64. 安武大輔, 北野雅治, 日高功太, 小林哲夫, 黄河流域トウモロコシ群落における蒸散速度とイオン動態の評価, 中国四国の農業気象(徳島県), Oct, 2005
 65. 白川博章, 石峰, 井村秀文, 中国の水資源管理における価格政策に関する研究-山西省を例として-, 第 33 回土木学会環境システム研究論文発表会(北海道大学), Nov 3, 2005
 66. 藤井秀道, 金子慎治, 馬奈木俊介, 中国における環境効率改善の計測と評価; 工業用水の事例, 第 33 回土木学会環境システム研究論文発表会(北海道大学), Nov 4, 2005
 67. 藤井秀道, 金子慎治, 馬奈木俊介, 勝原健, 中国鉄鋼業における資源環境に関する技術進歩の計測, 第 16 回国際開発学会論文発表会(神戸大学), Nov 27, 2005
 68. 大上博基, 賀斌, 久米崇, 高瀬恵次, 黄河流域河套灌区における圃場および灌区スケールの蒸発散量, 第 19 回(2006 年度)水文・水資源学会研究発表会(岡山), Aug 29-31, 2006
 69. 藤井秀道, 金子慎治, 馬奈木俊介, 中国鉄鋼企業の環境効率の計測と評価-水資源とエネルギー消費について-, 環境科学会 2006 年会(上智大学、東京都), Sep 4, 2006

70. 北野雅治, 安武大輔, 小林哲夫, 日高功太, 和島孝浩, 黄河流域トウモロコシ灌漑畑における水およびイオンの動態, 日本農業気象学会(札幌), Sep 12-14, 2006
71. 安武大輔, 小林哲夫, 池上大地, 岩永理佐, 北野雅治, 黄河流域トウモロコシ灌漑畑における最適作物係数の検討, 日本農業気象学会(札幌), Sep 12-14, 2006

口頭発表(国際会議)

1. Akae, T., Uno, T., Shi, H., and Y. Li, Movement of Salt and its Composition in Irrigated Land and in Non-Irrigated Lands in Hetao Irrigation District, Inner Mongolia, China, The International Conference on the Optimum Allocation of Water Resource the Ecological Environment Construction and the Sustainable Development in Arid Zone, pp.138-154, Sep 9, 2002
2. T. Amaya, The Present Condition Prospect of Irrigation Farming Introduced Water from Yellow River in Inner Mongolia and Ningxia District, The International Conference on the Optimum Allocation of Water Resource the Ecological Environment Construction and the Sustainable Development in Arid Zone, pp.24-29, Sep 9, 2002
3. Kume, T., Watanabe, T., and T. Mitsuno, Soil Salinity Assessment in Hetao Irrigation District Using Electromagnetic Induction Technique, The International Conference on the Optimum Allocation of Water Resource the Ecological Environment Construction and the Sustainable Development in Arid Zone, pp.132-137, Sep 9, 2002
4. T. Kusuda, Integrated Management on Water Supply in a Water Shortage Area, Proceedings of the International Specialized Conference on Creative Water and Wastewater Treatment Technologies for Densely Populated Urban Area, Hong Kong University of Science and Technology, pp.75-83, Sep, 2002
5. K. Takeuchi, The Yellow River Study in the Global Perspective, Proceedings of IHWR, Beijing, China, 13, Sep, 2002
6. K. Takeuchi, Floods and Society: A Never-Ending Evolutional Relation, Proceedings of the 2nd International Symposium on Flood Defense, Beijing, China, pp.3-14, Sep 10-13, 2002
7. Xu, Z. X., Takeuchi, K., and H. Ishidaira, Application of Artificial Neural Network Technique in Real-Time Flood Forecasting, Proceedings of the 2nd International Symposium on Flood Defense, Beijing, China, pp.884-891, Sep 10-13, 2002
8. Zhang, X., Takeuchi, K., Ishidaira, H., and S. Oishi, Two Basic Issues in the Numerical Flood Inundation Analysis by 2D FDM Simulation of Shallow Water Equation, Proceedings of the 2nd International Symposium on Flood Defense, Beijing, China, pp.1060-1068, Sep 10-13, 2002
9. K. Takeuchi, Challenges and Achievements of the RSC: Potentials for the Future, Proceedings of the International Symposium on Comparative Regional Hydrology and Mission for IHP Phase VI of UNESCO, Kuala Lumpur, Malaysia, pp.1-9, Oct, 2002
10. Xu, Z. X., Takeuchi, K., and H. Ishidaira, A Conceptually-Based Distributed Rainfall-Runoff

- Model Applied in Arid Regions, Proceedings of the International Symposium on Comparative Regional Hydrology and Mission for IHP Phase VI of UNESCO, Kuala Lumpur, Malaysia, pp.45–62, Oct 14–16, 2002
11. Yamamoto, N., Ishihara, T., Ishidaira, H., and K. Takeuchi, Estimation of Snow Water Equivalent in the Upper Tone River Basin, Proceedings of the International Symposium on Comparative Regional Hydrology and Mission for IHP Phase VI of UNESCO, Kuala Lumpur, Malaysia, pp.63–73, Oct 14–16, 2002
 12. 張光輝, Detachment of Natural Loess Soil by Shallow Flow, International Workshop on the Yellow River Studies –Kick-off Meeting–, Jan 28, 2003
 13. 方偉華, 井村秀文, Economic Development and Water Resource Demand in the Yellow River Basin: A Model Study on the Crop Irrigation Water Requirement, International Workshop on the Yellow River Studies –Kick-off Meeting–, Jan 29, 2003
 14. Yang, D., Li, C., Musiaka, K., and T. Kusuda, Variation of Water Resources of the Yellow River Basin in Last Century, Proceedings of the 1st International Conference on Hydrology and Water Resources in Asia Pacific Region, vol. 2, pp.560–565, Mar, 2003
 15. Xu, Z. X., Takeuchi, K., Ishidaira, H., and Z. F. Yang, Risk Analysis for Water Resources System by Using System Dynamics Technique: Case Study in Yellow River Basin, IAHS General Assembly, Sapporo, Japan, Jul 3–11, 2003
 16. Xu, Z. X., Takeuchi, K., Ishidaira, H., and C. M. Liu, A Distributed Model for Estimating Erosion and Deposition of Sediment in the Yellow River Basin, IAHS General Assembly, Sapporo, Japan IAHS Publ. no.279, pp.93–100, Jul 3–11, 2003
 17. Ishidaira, H., Takeuchi, K., Xu, Z. X., Ao, T., Magome, J., and M. Kudo, Effect of Spatial and Temporal Resolution of Precipitation Data on Accuracy of the Long-Term Runoff Simulation, Proceedings of Symposium HS03b Held During IUGG2003 at Sapporo, IAHS Publ. no.282, pp.186–193, Jul 8, 2003
 18. Magome, J., Ishidaira, H., and K. Takeuchi, Method for Satellite Monitoring of Water Storage in Reservoirs for Efficient Regional Water Management, Proceedings of Symposium HS02b Held During IUGG2003 at Sapporo, IAHS Publ. no.281, pp.303–310, Jul 10, 2003
 19. Yang, D., Li, C., Musiaka, K., and T. Kusuda, Analysis of Water Resources in the Yellow River Basin in the Last Century, Proceedings of Symposium HS02a Held During IUGG2003 at Sapporo, IAHS Publ. no.280, pp.70–78, Jul 7–12, 2003
 20. Yang, D., Koike, T., and H. Tanizawa, Effect of Precipitation Spatial Distribution on the Hydrological Response in the Upper Tone River of Japan, Proceedings of Symposium HS02a Held During IUGG2003 at Sapporo, IAHS Publ. no.282, pp.194–202, Jul, 2003
 21. Ishidaira, H., Takeuchi, K., and J. Magome, Run off Simulation by Distributed Hydrological Model in Information Poor Basins, GIS&RS in Hydrology, Water Resources and Environment, Sep, 2003

22. Magome, J., Ishidaira, H., and K. Takeuchi, Satellite Estimate of Reservoir Storages as a Component of Hydrological Processes in Ungauged Basins, GIS&RS in Hydrology, Water Resources and Environment, Sep, 2003
23. Jun, B., Hashimoto, H., Ueno, T., and K. Sugiyama, GIS Database of Kuye and Dali Tributary of the Yellow River and its Practical Use, Proceedings of the 1st Asian Symposium on Geographic Information Systems from Computer Science & Engineering View, pp.41-50, Sep 5-6, 2003
24. Takeuchi, K., Xu, Z. X., Ishidaira, H., Zhang, X. W., and J. Magome, The Yellow River Study in the Global Perspective. (International Yellow River Forum (IYRF) on River Basin Management), IYRF, Zhengzhou, China, Oct 21-24,2003
25. Xu, Z. X., Takeuchi, K., Ishidaira, H., Hu, C. H., and C. M. Liu, Application of a Distributed Hydrological Model in Wei River Basin. (International Yellow River Forum (IYRF) on River Basin Management), IYRF, Zhengzhou, China, Proceedings of the 1st International Yellow River Forum, vol. 1, pp.273-280, Oct 21-24,2003
26. Yang, D., Li, C., Musiaka, K., and T. Kusuda, Development of a Distributed Hydrological Model for the Yellow River Basin, IYRF, Zhengzhou, China Proceedings of the 1st International Yellow River Forum, vol. 3, pp.213-225, Oct 21-24,2003
27. Yang, D., Li, C., Koike, T., Kusuda, T., and K. Musiaka, Analysis of River Dry-Up in the Yellow River Basin of China, International Symposium on Disaster Mitigation and Basin-wide Water Management, Dec, 2003
28. 張新華, 竹内邦良, 石平博, 黄河下流域における土砂を含む氾濫流による氾濫原地形の変化に関するシミュレーション (Simulation of Floodplain Morphological Variations due to Sediment-Laden Inundation Flows in the Lower Yellow River Basin), 第6回 水科学・水工学に関する国際会議 (The Sixth International Conference on Hydro-science and Engineering), Jun 1, 2004
29. Li, C., Yang, D., Ni, G., and H. Hu, Simulation of Irrigation Water Consumption in the Yellow River Basin using a Distributed Hydrological Model, Proceedings of the 2nd APHW Conference, the Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources, Singapore, vol.1, pp.562-571, Jul 5-8, 2004
30. Yang, D., Li, C., and G. Ni, Uncertainty of the Water Resources Assessment in the Yellow River Basin, Proceedings of the 2nd APHW Conference, the Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources, Singapore, vol.2, pp.601-609, Jul 5-8, 2004
31. Yang, D., Low, E..C., and T. Koike, Efficiency of the Integrated Reservoir Operation for Flood Control in the Upper Tone River of Japan Considering Spatial Distribution of Rainfall, Proceedings of the 2nd APHW Conference, the Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources, Singapore, vol.2, pp.723-731, Jul 5-8, 2004
32. Magome, J., Ishidaira, H., and K. Takeuchi, Satellite monitoring of water storage variation for

- water resources management in ungauged basins, Proceedings-2nd APHW Conference, Singapore, pp.610-616, Jul 6, 2004
33. Hapuarachchi, P., Kiem, A., Ishidaira, H., Magome, J., and K. Takeuchi, Eliminating uncertainty associated with classifying soil types in distributed hydrologic modeling, Proceedings-2nd APHW Conference, Singapore, pp.592-600, Jul 6, 2004
 34. Kobayashi, T., He, W., Cho, H., Wang, W., and M. Mori, Irrigation Experiments at a JST Experimental Field in the Yellow River Basin, Inner Mongolia, China: A preliminary Report, International Conference on Hydrology: Science & Practice for the 21st Century (British Hydrological Society), Jul 12-16, 2004
 35. 大上博基, 田本敏之, 伊川浩樹, 高瀬恵次, Micrometeorological Model for Estimating Evapotranspiration from an Irrigated Maize Field in the Hetao Irrigation District in the Yellow River Basin, International Symposium on Food Production and Environmental Conservation in the Face of Global Environmental Deterioration (FPEC)(福岡市), Sep 9, 2004
 36. 田本敏之, 大上博基, 高瀬恵次, Micrometeorological Model for Estimating Evaporation from a Bare Field in the Hetao Irrigation District in the Yellow River Basin, International Symposium on Food Production and Environmental Conservation in the Face of Global Environmental Deterioration (FPEC)(福岡市), Sep 9, 2004
 37. Zhou, M.C., Ishidaira, H. and K. Takeuchi, Estimating Potential Evapotranspiration over Mekong River Basin by Considering Land Cover Characteristics, Proceedings of the International Conference on Advances in Integrated Mekong River Management, Vientiane, Lao PDR, Oct 25-27,2004
 38. Hapuarachchi, H. P., Kiem, A. S., Takeuchi, K., Ao, T., Magome, J., and M. Zhou, Applicability of the BTOPMC Model for Predictions in Ungauged Basins, Sustainable Water Resources Management in Changing Environment of the Monsoon Region, Colombo, Sri Lanka, Nov 17-19, 2004
 39. Kobayashi, T., Iwanaga, R., Teshima, J., He, W., and W. Wang, A Simple Model of Soil Hydrology for Scheduling Irrigation, 7th IAHS Scientific Assembly, Brazil, Apr 3-9, 2005
 40. Hapuarachchi, .P., Kiem, A. S., Takeuchi, K., Ishidaira, H., Zhou, M., Magome, J, and T. Ao, Transferability of the BTOPMC model parameters for predictions in ungauged basins, 7th IAHS Scientific Assembly, Brazil, Apr 3-9, 2005
 41. Zhou, M.C., Ishidaira, H., and K. Takeuchi, Estimating the potential evapotranspiration over the Yellow river basin by considering the land cover characteristics, 7th IAHS Scientific Assembly, Brazil, Apr 3-9, 2005
 42. Ishidaira, H., Gomi, S., Atsumoto, Y., and K. Takeuchi, Long-term variability of snow cover over the upper Mekong and Yellow river basin, 7th IAHS Scientific Assembly, Brazil, Apr 3-9, 2005
 43. Takeuchi, K., Ishidaira, H., Magome, J., Zhou, M.C., Hapuarachchi, H., Kiem, A.S.,

- Georgievski, M., and I. Struthers, Hydrological prediction of large basins for integrated river basin management: An attempt of YhyM, 5th International Science Conference on the Global energy and Water Cycle, Orange County, USA, Jun, 2005
44. Fang, W., Imura, H., Chen, J. and P. Shi, Variability of the phenological stages of winter wheat in the north china plain with NOAA/AVHRR NDVI Data (1982-2000), 25th IGARSS (International Geosciences and Remote Sensing Symposium) Seoul, Korea, Jul, 2005
 45. Yasutake, D., Kitano, M., Hidaka, K., Wang, W., He. W., and T. Kobayashi, Evaluation of transpiration Rate from Plant Canopy by Applying Transpiration Inhibitor Abscises Acid, International Conference on Research Highlights and Vanguard Technology on Environmental Engineering in Agricultural Systems, Kanazawa, Japan, Sep 12, 2005
 46. 久米崇, 長野宇規, 渡邊紹裕, 三野徹, 朝倫巴根, Effect of leaching irrigation on the spatial distribution of soil salinity in the hetao irrigation district in China, 19th ICID (International Congress on Irrigation and Drainage), Beijing, China, Sep 13, 2005
 47. 星川圭介, 渡邊紹裕, 久米崇, 長野宇規, A model for assessing the performance of irrigation management systems and studying regional water balances in arid zones, 19th ICID (International Congress on Irrigation and Drainage), Beijing, China, Sep 16, 2005
 48. Kusuda, T., Higashi. O., Wang. X., and D. Yang, Development of an Integrated Mathematical Model on Water Quantity and Quality and Its Application to the Weihe Basin, The 2nd International Yellow River Forum (IYRF), Zhengzhou(鄭州), China, Oct 20, 2005
 49. Oumoto, T., and Z., Cui, Rheological Characteristics of Hyperconcentrated diment-laden Flow, The 2nd International Yellow River Forum (IYRF), Zhengzhou(鄭州), China, Oct 20, 2005
 50. Lei, H., Yang, D., Sun, F., and Y. Shen, Field Experiment and Analysis of the Energy-Water Balances for the Winter Wheat in the Weishan Irrigation District along the Downstream of the Yellow River, International Symposium on Sustainable Water Resources Management and Oasis-hydrosphere-desert Interaction in Arid Regions, Beijing, China, Oct 27-29,2005
 51. Zhou, M.C., Ishidaira, H., Hapulachichi, H., Georgievsky, M. and K. Takeuchi, Roles of snow, infiltration - and saturation-excess processes in runoff generation of Yellow River basin, Symposium on Methodology in Hydrology, Hohai University, Nanjing, China, Oct 30-Nov 1, 2005
 52. Jun, B., Hashimoto, H., Ueno, T., and K. Sugiyama, Spatial Database of the Northern Area of Yellow River for Research of Sediment Discharge, The 26th Asian Conference on Remote Sensing 2005 (ACRS2005), Hanoi, Vietnam, Nov 7-11, 2005
 53. Jun, B., Hashimoto, H., Ueno, T., and K. Sugiyama, GIS Database for Yellow River Research with Satellite and Digitalized Map, The 21st Century Asian Conference on Environmental Issue (ACEI2005), Nagasaki University, Japan, Nov 17-18,2005
 54. He, B., Oue, H., Wang, Y. and K. Takase, A multilayer soil water balance model for an irrigated wheat field in the Yellow River Basin, International Conference on Environmental and

- Engineering Geophysics (ICEEG 2006), Wuhan, China, Jun 4, 2006
55. Hashimoto, H., Takaoka, H., and S. Ikematsu, Hyper-concentrated flows in tributaries of the middle Yellow River, First International Conference on Monitoring, Simulation, Prevention and Remediation of Dense and Debris Flow (Debris Flow 2006), Rhodes, Greece, Jun 7, 2006
 56. Oue, H., He, B., Tamoto, T., Kume, T. and K. Takase, Estimating Evapotranspiration in the Hetao Irrigation District in the Yellow River Basin Based on SPAC Model and Satellite Image Data, International Conference of Hydrological Sciences for Managing Water Resources in the Asian Developing World 'HS for MWR 2006), Guangzhou, China, Jun 10, 2006
 57. Kobayashi, T., Cho, H., Kaneko, T., Yokoyama, D., and W. Wang, Mechanisms of Forming Saline Plots in the Irrigated Land in Arid and Semiarid Regions, International Conference of Hydrological Sciences for Managing Water Resources in the Asian Developing World 'HS for MWR 2006), Guangzhou, China, Jun 8-10, 2006
 58. Yasutake, D., Kobayashi, T., and R. Iwanaga, Separation of Crop Transpiration and Soil Evaporation in a Cornfield in the Yellow River Basin Using the Dual Crop Coefficient Approach, International Conference of Hydrological Sciences for Managing Water Resources in the Asian Developing World 'HS for MWR 2006), Guangzhou, China, Jun 8-10, 2006
 59. Kaneko, T., Kobayashi, T., Wang, W., and H. Cho, Evaluation of the Optimum Depth of Irrigation Applied After Crop Harvest in the Yellow River Basin in Late Autumn, International Conference of Hydrological Sciences for Managing Water Resources in the Asian Developing World 'HS for MWR 2006), Guangzhou, China, Jun 8-10, 2006
 60. Zhou, M.C., Ishidaira, H., and K. Takeuchi, Reference and Potential Evaporations over Humid and Semi-arid Asian Monsoon Regions; Cases of Mekong and Yellow River Basins, International Conference of Hydrological Sciences for Managing Water Resources in the Asian Developing World 'HS for MWR 2006), Guangzhou, China, Jun 8-10, 2006
 61. Onishi, A., Han, J., Shirakawa, H., and H. Imura, Understanding seasonal and regional characteristic of water resource supply and demand structures in the Yellow River Basin, 8th International Summer Symposium in Nagoya, organized by International Activities Committee, JSCE, July 29, 2006
 62. Han, J., Onishi, A., Shirakawa, H., and H. Imura, An analysis of regional disparity, population migration and their impacts on domestic water use in China, 8th International Summer Symposium in Nagoya, organized by International Activities Committee, JSCE, July 29, 2006
 63. Kobayashi, T., Iwanaga, R., Teshima, J., Ikegami, D., Yasutake, D., He, W., and H. Cho, An improved bucket with a bottom hole model of soil hydrology setting in bioprocesses, International Conference BIOHYDROLOGY 2006, Impact of biological factors on soil hydrology, Prague, Czech Public, Sep 20-22, 2006
 64. Yang, D., Sun, F., and Z. Liu, Changes in the Hydroclimatology over Northern China during the Last Half Century, The 3rd APHW Conference, Bangkok, Thailand, Oct 16-18, 2006

65. Yang, D., Lei, H., Sun, F., Shen, Y., Miyazaki, S., and S. Kanae, Understanding the Ecohydrological Processes in Agriculture Field along the Downstream of the Yellow River, The 3rd APHW Conference, Bangkok, Thailand, Oct 16-18, 2006

③ ポスター発表等 (国内会議 5 件、国際会議 0 件)

1. 小鷹狩聡司, 金子慎治, 井村秀文, 90 年代の黄河流域における水需給バランス決定因子の空間構造とその変化に関する研究, 第13回国際開発学会全国大会報告論文集, pp. 199-204, Nov30 -Dec 1, 2002
2. 赤江剛夫, 内蒙古、河套灌区における土壌塩類化の評価とその展望, ARDEC (日本農業土木総合研究所、海外農業農村開発技術センター)、第 26 号, pp.47-51, Feb, 2003
3. 石平博, 宮坂雄太, 竹内邦良, 徐宋学, 馬籠純, USLE 法を用いた黄河流域の土砂生産量の長期変化に関する検討, 水文・水資源学会(福岡) 誌上発表, Aug 1, 2003
4. Li Chong, 楊大文, 虫明功臣, 楠田哲也, Climatic Changes and Effect on Runoff Variability in the Upper Yellow River, 水文・水資源学会(福岡), Aug 1, 2003
5. Xu. Z., Takeuchi. K., Ishidaira H., and C. Liu, An overview of water resources in the Yellow river basin, Water International, vol.30, pp.225-238, Jun, 2005

(4)特許出願

なし

(5)受賞等

①受賞

なし

②新聞報道

1. 楠田哲也, ASIA トゥデー:水危機 中国・際立つ南北の資源量格差, 西日本新聞(福岡), Jul 28, 2003
2. 天谷孝夫, 中国・黄河 枯渇防げ地下水期待, 朝日新聞朝刊(岐阜版), Nov 13, 2005

(6)その他特記事項

《委託開発や特許実施許諾等、技術移転や実用化に展開した例などを記入してください。》

7 研究期間中の主な活動

(1) ワークショップ・シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
平成 13 年 12 月 22 日	第 1 回黄河研究会	東京大学工学部	9 名	チーム研究分担者会議、H13 年度の研究計画を討議
平成 14 年 3 月 1 日	第 2 回黄河研究会	東京大学生産技術研究所	32 名	中国の研究者による黄河土砂輸送、水資源に関わる講演会
平成 14 年 6 月 25 日	第 3 回黄河研究会	東京 YMCA ホテル	9 名	チーム研究分担者会議、H14 年度の研究計画を発表
平成 14 年 10 月 12 日	第 4 回黄河研究会	東京大学	32 名	日中共同研究の正式な開始にあたり中国から招聘者を迎え講演及び黄河流域の問題点を討議
平成 14 年 10 月 30 日	RR2002/CREST 合同黄河研究ワークショップ	河川情報センター	45 名	黄河水利委員会からの黄河の水管理に関する現状報告および日本側の黄河研究報告
平成 15 年 1 月 7 日	第 6 回黄河研究会 (第 5 回黄河研究会は欠番)	CREST 水循環研究事務所	42 名	チーム全体会議、H14 年度の研究成果を発表
平成 15 年 6 月 7 日	第 7 回黄河研究会	CREST 水循環研究事務所	9 名	チーム研究分担者会議、H15 年度の研究計画を発表
平成 15 年 9 月 8 日	第 1 回黄河国際ワークショップ	九州大学	25 名	招聘中国側研究者の講演会「黄河水資源の情勢変化と持続可能な利用対策」
平成 16 年 1 月 7 日	第 8 回黄河研究会	東京大学生産技術研究所	32 名	チーム全体会議、H15 年度の研究成果を発表
平成 16 年 2 月 2 日	第 2 回黄河国際ワークショップ	九州大学	35 名	招聘中国側研究者の講演会
平成 16 年 2 月 21 日	農業土木学会/CREST 合同ワークショップ	岡山つしま苑	20 名	内蒙古の研究者・技術者と研究課題・方法や成果について意見交換
平成 16 年 2 月 25 日	農業グループワークショップ	総合地球環境学研究所	20 名	招聘中国側研究者と日本側研究者が H15 年度の研究成果と今後の調査計画について討議
平成 16 年 5 月 11 日	第 9 回黄河研究会	東京大学工学部	10 名	チーム研究分担者会議、H16 年度の研究計画を発表

平成 16 年 9 月 14 日	第 3 回黄河国際ワーク ショップ	九州大学	50 名	中国から研究者を招聘し、黄河 水資源管理に関する講演会を 実施
平成 17 年 1 月 5 日	第 10 回黄河研究会	東京八重洲ホ ール	31 名	チーム全体会議、H16 年度の 研究成果を発表
平成 17 年 3 月 3 日	CREST/総合地球環境 学研究所合同ワークショ ップ黄河流域の灌漑区 における土地・水管理	京大会館	12 名	位山灌区・河套灌区を中心に 黄河流域灌漑区の土地・水利 用の実態報告と討議
平成 17 年 5 月 8-9 日	Joint Symposium on Water Issue in the Yellow River Basin	清華大学	50 名	H16 年度の研究成果発表およ び中国人研究者との討議
平成 17 年 6 月 8 日	第 11 回黄河研究会	九州大学	12 名	チーム研究分担者会議、H17 年度の研究計画を発表
平成 18 年 1 月 11 日	第 12 回黄河研究会	東京八重洲ホ ール	32 名	チーム全体会議、H17 年度の 研究成果を発表
平成 18 年 4 月 7 日	第 13 回黄河研究会	CREST 水循環 研究事務所	8 名	チーム研究分担者会議、最終 報告に向けての討議
平成 18 年 5 月 29 日	第 4 回黄河国際ワーク ショップ	九州大学	40 名	中国から研究者を招聘し、黄河 水文水資源および水環境に関 する講演会を実施
平成 18 年 5 月 30 日	托克托灌漑実験成果検 討会	九州大学	15 名	農業グループ II の灌漑実験成 果報告会
平成 18 年 9 月 26-27 日	乾燥地の農地・水管理 に関するワークショップ (予定)	内モン古農業大 学	60 名	農業グループ I の最終とりまと め報告会
平成 18 年 10 月 27 日	第 14 回黄河研究会 (予定)	総合地球環境 学研究所	30 名	チーム全体会議、最終研究成 果を発表

8 結び

(1) 研究の目標等から見た達成度

1) 目標を達成した事項

最終成果が示すように、おおむね、当初目標を達成しえた。基礎データの収集と CD 化、水量水質統合モデルの構築、このモデルを基にした水資源配分施策の検討等達成できた。また、成果を書として出版しえたことも目標どおりである。さらに、当初目標にはなかった砒素中毒の医学的検討と防止施策の検討も内モン古の住民にとってはかなりの安心感を与えたはずである。

研究成果だけでなく、プロジェクトを通して築きえた中国側研究者や行政担当者との人脈を財産

としたことは目標を越えた成果である。

2) 目標達成に至らなかった事項

黄土高原における土砂発生、輸送、堆積、河床変動は、独自の課題としても、また、治水や水質保全との関連における課題としても、極めて重要であるが、本研究においては、土砂の発生と輸送形態の解析に留まった。これは、もともとの課題設定が大きすぎたことによる。しかしながら、黄河における土砂の発生と輸送形態の解析にて、博士をひとり誕生させることが出来た。

(2) 得られた成果の意義

1) 黄河の理解の推進

黄河流域における水に関わる事象、具体的には、中国の水資源政策のコンセプトと意思決定課程、上下流問題の構造、経済発展に関する水資源制約の影響度の強さ、乾燥地における塩害防止農業技術のあり方、砒素中毒の回避方策等、多面において、黄河の状況をより深く理解できるようになった。これらについて検討した成果は、国際ジャーナル、国際シンポジウム、国内誌、講演会等にて報告済みである。特に、予測モデルを中国語にて出版したこと、最終成果を英文にて世界に問いかけることなど、成果もほぼ公表しておえており、関連研究の推進に寄与しえる。

2) 情報の蓄積

本研究を通して、中国、特に黄河流域の水文事象、社会形態、産業構造、さらにはこれらの相互影響事象について、情報をかなり蓄積することが出来た。この成果により、中国の水問題研究の厚みを学問的に増すことができた。取得データは CD にて配布可能にしている。

一方、中国に関わる情報の蓄積は、JICA の援助事業評価にもすでに利用されたことから解るように、学問分野以外での貢献も期待される。

3) 乾燥地の水事象の科学的理解の深化

わが国では経験できない乾燥地や高濁質河川の水事象研究にてかなりの成果をあげ、この分野の研究レベルの向上に寄与した。乾燥地からの流出水量の算定方式の改良、乾燥地における水収支モデルの構築、水資源配分の効率化策定方式の開発、高濁質河川における浄化機能の評価などがその例である。

4) 人材育成

修士課程、博士課程の学生の育成だけでなく、研究員として雇用された人材の育成にも、本研究は有効に機能した。本課題に限っても、博士課程の修了者は 6 名、修士課程修了者のうちメンバー登録者 11 名、未登録者 32 名である。研究員には中国国籍の人も少なくなく、今後の連携研究にとって要となる人材となりうると期待される。特に、主要研究分担者が国内の大学の助教授から中国の大学の教授として転職しえたことは、黄河研究の今後が明るいことを示している。

5) 中国との連携の強化

中国水利部や黄河水利委員会職員によるわが国での講演や意見交換を通じて、人脈を築くことが出来たのは、大いなる財産である。入手困難なデータも入手が可能になるなど、研究推進上の効率化を図ることができるようになった。

(3) 今後の研究の展開

1) 本研究にて育った中国黄河流域の状況を理解できる若き学徒が次のフェーズの研究を展開してくれることが大いに期待される。彼らが、どのような切り口で研究を継続してくれるかが楽しみの部分である。水文現象、治水対策、水資源配分政策、水質保全手法、河道保全技術開発、生態系保全等、対象は枚挙に暇がない。

2) 本研究において、生態系について検討しえなかった。今後は、生態系保全を含めた水資源配分、土砂輸送形態を検討する必要がある。また、黄河が流れ込んでいる渤海湾や東シナ海はわが国の漁船が漁場としているところでもあるので、その水質、底質、魚介類の生息状況についても、わが国の食糧安全保障の観点から検討を要する課題である。

3) 本研究で育った中国の研究者との連携や情報ネットワークをわが国の中国研究資産として如何に活用していくかも課題である。かつて、中国を研究した研究者は少なくないが、研究支援の部分での蓄積が活用されたことはほとんどない。研究効率、中国研究の重要性から見て、研究支援に関わる領域の蓄積を組織的に活用できるようにすることが肝要である。

4) 集積されたデータ類は CD に収録し活用できるようにしているので、この種の資料の利用が望まれるところである。

(4) 研究代表者としてのプロジェクト運営について

比較的まとまりの良い研究チームであった。黄河研究を研究室の主要課題として延べ6年間、精力を注いでくださった研究分担者ばかりであったことが、本研究プロジェクトを成功に導いた。

研究費を柔軟に使用できたことは、研究の進展にともない重要になった課題を効率よく推進することに極めて有効であった。

16名の博士課程修了者(内4名見込み)を誕生させることが出来たし、あわせて、26名の修士課程修了者や研究員を育成することができた。黄河を理解できる若手研究者を間違いなく増やすことができたのも、行事や現地調査等のために若手研究者に少ない制約で旅費を支払うことが出来たことによる。

(5) その他

1) 戦略的創造研究推進事業に対する意見、要望

本プロジェクト(CREST)は研究経費を有効に使える、つまり、研究の進展に応じてより良い方向に舵を切っていける柔軟さを有しており、極めて効率よく研究を展開することができた。この良さを維持して、新たな課題を採択し、実施していただきたい。

2) 評価について

中間評価では有益なコメントをいただくことができ、その後のプロジェクトの展開を改善することができた。最終評価においても、今後の展開について忌憚のない意見とアイデアをいただくことができ、発展的な評価であった。このことは、評価委員が、専門性の高い人により構成されていたことによる。また、プログラム全体の構成もよく配慮されたものであったことに心からお礼を申し上げる。



黄河源流九曲部（2006年8月15日）



内蒙古(托克托)の実験圃場（2004年11月2日）



中国側研究者との会議風景（2005年9月13日）