

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 黄河流域の水利用・管理の高持続性化

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）

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）

主たる共同研究者

渡邊 紹裕（総合地球環境学研究所 教授）

小林 哲夫（九州大学大学院農学研究院 助教授）

橋本 晴行（九州大学大学院工学研究院 助教授）

竹内 邦良（山梨大学大学院医学工学総合研究部 教授）

井村 秀文（名古屋大学大学院環境学研究科 教授）

3. 研究内容及び成果：

黄河流域における将来の持続性の高い水利用・水管理システムを提示するために、既存データの収集・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・物質循環要素のモデル化とモデル要素の統合化、モデルによる将来予測、将来の水利用形態に関する評価・提案を行った。研究全体は空間・対象別の4つのサブテーマ、①農地・乾燥地、②都市、③土砂輸送、④流出・水資源モデル、および全体を総合するテーマ、⑤流域水マネジメント、に分けて構成された。

1) 農地・乾燥地

内蒙古河套灌漑区（年間平均降水量 200mm）、内蒙古達拉特旗慶河流域（年間平均降水量 250mm）、および、内蒙古呼和浩特市托克托県中灘郷（年間平均降水量 300mm）において、水・熱・塩分のダイナミクスに関する現地連続観測と現状の灌漑方法などに関する詳細な調査を行い、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明らかにするとともに、安定同位体を用いて蒸発比率を確認した。また、塩害防止と節水のための灌漑方式を考案・提示し、そのための圃場整備方式を提案した。

2) 都市

渭河流域と西安市域を対象に、降水量の新たな連続観測の実施と既存データの収集に基づく降水の統計的特性、水供給機関データの収集・分析に基づく都市部と農村部における生活用水の使用原単位の相違、主要河川における水量・水質同時観測による水質の分布実態と季節変化、などをそれぞれ明らかにした。これらを基に、渭河流域の人工系の水利用を組み込みこんだ分布型水文モデルと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、渭河流域を対象に水供給制約の下で社会形態、食糧生産、人口移動および節水技術適用の項目別に評価を行い、経済成長の最大化を目標とする水資源配分シナリオの設定手法を策定して分析した結果、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って、経済成長に支障を来すことなく水利用の効率化を図ることが可能であることを示した。

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の基礎的室内実験により、高濃度水の抵抗則と流砂量の表現式を検討し、河床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示した。黄河中流支川の水理・水文観測点の雨量と流量の観測値を用いて、貯

留関数法による流出解析とともに流砂量式の適合性の検討を行った結果、流出パラメータに含有土砂の影響が大きく反映されること、流砂量式の適合性は基礎実験とに一致すること、などを明らかにした。さらに、これら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い、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を可能にした。

4) 流出・水資源

まず、黄河流域の50年間(1951～2000年)の水文・気象データの解析により、水文諸量の年平均値と経年変化、流出発生域の分布、取水量の経年変化などの実態が明らかにされた。次いで、黄河流域全体に対して、ダム・取水等の人間活動を組み込み、地表の条件設定には人工衛星による観測データを適用した10kmメッシュの分布型流出モデルを構築し、1951～2000年の50年間の水資源賦存量と流出量を算定した。その結果、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。また、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。また、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305の県市を単位として、上流からの取水・利用・還元をカスケード的に明示した月単位の水資源需給の空間構造を分析する応用一般均衡モデルを構築した。このモデルを用いて、1997—2000年の水資源需給の構造を再現し、地域と季節による水需給の相違、黄河の断流メカニズムなどが詳細に考察された。また、このモデルに各種用水需要の将来予測と水供給将来予測の分析モジュールを加えて、人口・社会経済フレームを設定し、「均等成長」、「大都市成長」および「中都市成長」、の3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た。その結果、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、排水システムが普及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、などを指摘した。また、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、小麦とトウモロコシ需要増が黄河流域の各地域の農業用水の需要増に及ぼす影響が具体的に示された。

4. 事後評価結果

4-1. 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

原著論文(国内誌62件、国際誌16件)、その他の著作物2件、口頭発表(国内会議71件、国際会議65件)、ポスター発表(国内5件)と国内外に多くの成果を発表し、特に水文・水質モデルに関する中国語での本の出版は、相手国への成果の還元として高く評価される。得られた主要な成果に対する評価を以下にまとめる。

- (1) 現地における継続観測と詳細な調査によって、乾燥地帯の農地灌漑に対して熱・水循環機構と水・塩分動態を明らかにした上で、具体的な節水灌漑技術と塩害防止対策を提示できたことは、貴重な成果として高く評価できる。
- (2) 渭河流域での水量・水質同時観測と生活用水などの調査を基に新たに構築された水文・水質統合モデルを用いた水質汚濁機構に関する研究は、多量の土砂を含む河流の成果として新規性が高い。
- (3) 黄河では、黄土の膨大な土砂流出による河床変動が水利用や治水に関わる大きな問題であり、このプロジェクトでも、土砂の発生、輸送、堆積、河床変動を研究課題とした。そのうち、土砂の発生と輸送については新たな成果が得られたが、河床変動については今後の課題とされた。
- (4) 分布型モデルの適用により、黄河全流域の流量の長期変動特性が解析されたこと自体が、貴重な成果といえる。特に、黄河の断流の原因は従来、農業による過剰取水とされていたが、この研究での解析により、

気候変動も重要な要因であることが見出された点は、世界的にもインパクトのある成果である。

- (5) 流域水マネジメントのモデル化および応用一般均衡モデルと産業政策シナリオに基づく水需給モデルの開発とシミュレーションによって、水政策の方向性を検討することまで漕ぎ着けたことは評価できる。しかし、特に水需給モデルと一般均衡モデルについて、その性格を十分吟味した上で適切な取り扱いを工夫する余地が残っている。
- (6) いくつかの課題は残しているが、プロジェクト全体として見ると、必要な情報が必ずしも公開されていない中国で、現地の研究機関・研究者と良好な協力関係を築いて現地観測・調査を含むデータ収集を行い、世界が注目する黄河の水利用・水管理の各サブ課題に対して先導的研究成果を上げたことは、極めて高く評価される。

4-2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

断流問題で世界の注目を浴びる黄河流域を対象に、水利用と水管理について適切なサブ課題の設定のもとになされた系統的研究としては、類例がなく、世界をリードするものである。また、このプロジェクトを通じて築かれた中国の研究機関・研究者との人的ネットワークは、今後のこの分野の共同研究や研究交流に対する貴重な資産である。

4-3. その他の特記事項(受賞歴など)

このプロジェクトを通じて、16名の博士課程修了者と26名の修士課程の修了者を出し、この分野の若手研究者の育成に貢献した。