



JAPAN
BANK FOR
INTERNATIONAL
COOPERATION

JBICI Research Paper No. 28

中国北部水資源問題の実情と課題

—黄河流域における水需給の分析—

2004年3月

国際協力銀行
開発金融研究所



JBICI Research Paper No.28

中国北部水資源問題の実情と課題

—黄河流域における水需給の分析—

2004年3月

国際協力銀行
開発金融研究所

本 **Research Paper** は、国際協力銀行における調査研究の成果を内部の執務参考に供するとともに一般の方々にも紹介するために刊行するもので、本書の内容は本行の公式見解ではありません。

開発金融研究所

はじめに

中国では、食糧・エネルギーの不足、環境問題と並んで、水資源問題が重要性を増しつつある。中国の水資源は南部に豊富な一方、黄河流域を含めた北部は乾燥地帯であり既に深刻な水資源不足に陥っている。さらに、今後予想される食糧増産、工業生産の拡大、都市人口の増加、生活水準の向上、森林の減少や気候変動による流量の不安定化は、北部での水資源不足を更に加速化させる恐れが強い。

このような問題の解決のためには、水資源の効率的な利用、供給増加の両面を検討する必要がある。本調査では、中国北部の黄河流域に焦点をあて、水資源の現状を需給双方の側面から定量的に把握し、水資源問題を解消する方策を探ることを試みた。

本リサーチペーパーを、中国北部の水資源問題の研究や、我が国の中国に対する水・環境分野の支援策を検討する上で、参考として頂ければ幸いである。なお、当研究所では本調査を補完する目的で、インハウス調査「中国の産業立地と北部水資源問題」を実施した。補論に掲載しているので、併せてご参照頂きたい。

最後に、調査の実施にあたり、内外の関係各機関の多くの方々から、一方ならぬ御支援ならびに御協力を頂いたことに対し、心より御礼申し上げたい。

平成 16 年 3 月
開発金融研究所
所長 橋田正造

《調査・執筆担当者》

藤井 あゆみ （開発金融研究所 開発政策支援班 専門調査員）

《外部委託調査担当者》

井村 秀文 （名古屋大学大学院 環境学研究科 教授）

本調査の結果の一部は、平成 15 年 3 月に京都で開催された「第 3 回 世界水フォーラム」でも展示した。

報告書目次

はじめに	i
報告書目次	ii
図表目次	v
付録目次	vii
要約	S-1
序	1
第1章 中国の水資源問題	2
第2章 黄河の水資源問題の概要	4
2.1 黄河流域の概要	4
2.2 水資源の不足	5
2.3 断流とその特徴	9
第3章 対策および関連研究	11
3.1 中国政府の取組み	11
3.1.1 対策分野	11
3.1.2 水資源管理に関する法律・規定の整備	12
3.1.3 水利関連事業	12
3.1.4 南水北調西線工程	15
3.1.5 灌漑面積の拡大	15
3.1.6 節水灌漑：300重点県事業	15
3.1.7 水土流出対策事業	16
3.1.8 上下水道	17
3.2 国際協力：対中援助プロジェクト	17
3.2.1 概要	17
3.2.2 日本政府	17
3.2.3 国際協力銀行（JBIC）	18
3.2.4 国際協力機構（JICA）	19
3.2.5 世界銀行	20
3.2.6 アジア開発銀行	21
3.3 黄河水資源問題に関する研究	22
3.3.1 中国工程院報告書『中国の持続可能な発展のための水資源戦略』	22
3.3.2 世界銀行報告書『華北水資源アジェンダ』	23
3.3.3 その他	24

第 4 章	水資源需給分析の枠組み	25
4.1	分析の目的と内容	25
4.2	水資源需給の決定因子	26
4.3	水需給モデルの構築にあたって	27
4.4	水資源の賦存量と供給ポテンシャル	28
4.4.1	水資源量	28
4.4.2	黄河の水収支	30
4.5	水資源需給の支配因子	32
4.5.1	社会経済フレーム	32
4.5.2	農業用水需要量の決定因子	33
4.5.3	工業用水	37
4.5.4	生活用水	40
4.5.5	他水系からの導水	44
4.5.6	水価格	44
4.5.7	需要と供給のバランス	45
第 5 章	黄河流域の水資源需要予測	47
5.1	分析方法	47
5.1.1	対象地域の定義	47
5.1.2	人口・経済・産業構造に関するマクロフレーム	48
5.2	水資源供給量（降水量）および可能蒸発散量の推定	54
5.2.1	データソース	54
5.2.2	投影変換	54
5.2.3	降水量	54
5.2.4	気温の内挿	55
5.2.5	可能蒸発散量の計算	55
5.2.6	水資源量の計算	56
5.3	農業用水	57
5.3.1	基礎データ	57
5.3.2	節水型農業シナリオ	58
5.3.3	自然体シナリオ	60
5.4	工業用水	61
5.4.1	利用可能なデータ	61
5.4.2	工業用水量の推計方法	61
5.4.3	県別工業用水量の予測	65
5.4.4	推計結果	65
5.5	生活用水	66
5.5.1	生活用水の決定因子	66
5.5.2	予測結果概要	71

5.6	結果のまとめ	72
5.6.1	水不足量のシナリオ	72
5.6.2	今後の対応策	73
第6章	今後の調査・研究課題	75
6.1	本調査の成果と課題	75
6.1.1	本調査の成果	75
6.1.2	需要モデルの改善	75
6.1.3	政策評価研究の必要性	77
6.1.4	その他の問題	79
6.2	今後の研究の方向性	79
	参考文献	82
	付録	付-1
	補論：中国の産業立地と北部水資源問題（インハウス調査）	補論 1

図表目次

図表 2-1	中国の主要河川流域の比較（1997年）	4
図表 2-2	黄河流域の地理的範囲	5
図表 2-3	黄河の構成	5
図表 2-4	中国の農業	6
図表 2-5	黄河流域都市の月別雨量	7
図表 2-6	黄河の水資源に関する基礎データ	8
図表 2-7	黄河本支流の観測点における年間流量実測値	8
図表 2-8	黄河流域の人口分布	9
図表 3-1	水利関連事業の実施状況（中国全土）	13
図表 3-2	省別に見た灌漑面積の推移	14
図表 3-3	黄河の大型ダム	14
図表 3-4	円借款による黄河関連プロジェクト	19
図表 3-5	世界銀行による黄河関連プロジェクト	21
図表 3-6	アジア開発銀行による黄河関連プロジェクト	22
図表 3-7	中国工程院報告書『中国の持続可能な発展のための水資源戦略』の構成	23
図表 3-8	『華北水資源アジェンダ』目次	24
図表 4-1	水資源需給分析の枠組み	26
図表 4-2	水需要の決定因子	27
図表 4-3	流域別水資源量の比較（2000年）	29
図表 4-4	黄河流域分区分別に見た取水量と耗水量（2000年）	31
図表 4-5	黄河流域の分区分別・用途別に見た地表水の取水量と耗水量（2000年）	31
図表 4-6	黄河流域の分区分別・用途別に見た地下水の取水量と耗水量（2000年）	32
図表 4-7	中国の水資源需要将来予測結果（中国工程院）	34
図表 4-8	食糧需給の将来シナリオ	34
図表 4-9	農業用水需要予測の関連因子図	35
図表 4-10	黄河流域内の灌漑面積と灌漑定数に関する将来シナリオ	35
図表 4-11	単位面積当たりの穀物収量の推移（1947-1998年）	36
図表 4-12	黄河流域における経済成長と一人当たり穀物需要量の関係	36
図表 4-13	経済発展レベルと工業用水使用原単位の関係（1999年、省の比較）	38
図表 4-14	業種別、地域別工業用水使用量（2000年）	38
図表 4-15	工業用水原単位の将来シナリオ	39
図表 4-16	工業用水の再利用率（1993年）と工業用水弾性係数（1980-1993年）	39
図表 4-17	工業用水需要予測の関連因子図	40
図表 4-18	可処分所得と生活用水使用量の関係	42
図表 4-19	都市生活用水需要予測の関連因子図	43
図表 4-20	生活用水原単位の変化と生活用水需要の予測	43

図表 4-21	中国の都市化と上水道・下水道の整備	44
図表 4-22	中国都市における水価格	45
図表 4-23	渇水レベルによる灌漑用水不足量	46
図表 5-1	黄河流域の面積	47
図表 5-2	黄河流域の地理的範囲：縣市行政区界	48
図表 5-3	中国の人口・経済に関するマクロフレームの設定例	49
図表 5-4	人口に関する将来シナリオ	50
図表 5-5	全国および黄河流域の GDP（億元）と GDP 成長率（%）の推計結果	51
図表 5-6	全国および黄河流域の 1 人当たり GDP（元）と 1 人当たり GDP 成長率（%）の推計結果	52
図表 5-7	黄河流域各省の産業構造推計式の係数および R ² 値	53
図表 5-8	黄河流域の産業比率の推計結果	53
図表 5-9	160 の観測所（投影変換後）	54
図表 5-10	年間可能蒸発散総量の推計結果	55
図表 5-11	水資源量の推計結果	56
図表 5-12	黄河流域の有効灌漑面積の推計結果	57
図表 5-13	黄河流域関係省の灌漑定数の推計結果	58
図表 5-14	農業用水に関する将来シナリオ「節水型農業シナリオ」	59
図表 5-15	農業用水に関する将来シナリオ「自然体シナリオ」	60
図表 5-16	市区工業用水量予測のフローチャート	63
図表 5-17	工業用水原単位の推計結果	64
図表 5-18	工業総生産の推計結果	65
図表 5-19	工業用水量の推計結果	66
図表 5-20	工業用水原単位シナリオ	66
図表 5-21	用水普及率シナリオ	67
図表 5-22	都市生活用水量（上水道有り）と農村生活用水量（上水道無し）シナリオ	68
図表 5-23	都市非農業人口	69
図表 5-24	都市農業人口	69
図表 5-25	用水人口	70
図表 5-26	非用水人口	70
図表 5-27	都市生活用水量（上水道有り）と農村生活用水量（上水道無し）	71
図表 5-28	生活用水量	71
図表 5-29	将来シナリオ総括表	72

付録目次

付録 1	月別蒸発散量の推計結果	付-1
付録 2	経済成長のマクロフレームの設定方法	付-7
付録 3	付録データ	付-8
図表 A 1	蒸発散量 1 月	付-1
図表 A 2	蒸発散量 2 月	付-1
図表 A 3	蒸発散量 3 月	付-2
図表 A 4	蒸発散量 4 月	付-2
図表 A 5	蒸発散量 5 月	付-3
図表 A 6	蒸発散量 6 月	付-3
図表 A 7	蒸発散量 7 月	付-4
図表 A 8	蒸発散量 8 月	付-4
図表 A 9	蒸発散量 9 月	付-5
図表 A 10	蒸発散量 10 月	付-5
図表 A 11	蒸発散量 11 月	付-6
図表 A 12	蒸発散量 12 月	付-6
図表 A 13	Population	付-8
図表 A 14	GDP	付-8
図表 A 15	1 人当たり GDP	付-8
図表 A 16	灌漑用水（節水型農業：大灌漑面積）	付-9
図表 A 17	灌漑用水（節水型農業：小灌漑面積）	付-9
図表 A 18	灌漑用水（自然体型農業：大灌漑面積-シナリオ 1）	付-9
図表 A 19	灌漑用水（自然体型農業：小灌漑面積-シナリオ 2）	付-10
図表 A 20	灌漑用水（自然体型農業：大灌漑面積-シナリオ 3）	付-10
図表 A 21	灌漑用水（自然体型農業：小灌漑面積-シナリオ 4）	付-10
図表 A 22	工業用水量	付-11
図表 A 23	工業用水原単位	付-11
図表 A 24	都市用水量	付-11
図表 A 25	用水人口生活用水需要量	付-12
図表 A 26	非用水人口生活用水需要量	付-12
図表 A 27	農業利用可能量	付-12
図表 A 28	用水量および水資源不足量（農業用水：自然体型農業-大灌漑面積-シナリオ 1）	付-13
図表 A 29	用水量および水資源不足量（農業用水：自然体型農業-小灌漑面積-シナリオ 2）	付-13
図表 A 30	用水量および水資源不足量（農業用水：自然体型農業-大灌漑面積-シナリオ 3）	付-13
図表 A 31	用水量および水資源不足量（農業用水：自然体型農業-小灌漑面積-	

	シナリオ4)	付-14
図表 A 32	用水量 (農業用水: 自然体型農業-大灌漑面積-シナリオ1)	付-14
図表 A 33	用水量 (農業用水: 自然体型農業-小灌漑面積-シナリオ2)	付-14
図表 A 34	用水量 (農業用水: 自然体型農業-大灌漑面積-シナリオ3)	付-15
図表 A 35	用水量 (農業用水: 自然体型農業-小灌漑面積-シナリオ4)	付-15

要 約

中国北部水資源問題の実情と課題に関する本調査は、水資源不足にある中国北部の中でも特に黄河流域を対象に、水資源利用の現状と今後予想される需給逼迫の度合いを可能な限り定量的に考察し、問題解消のための技術的、政策的な課題について検討することを目的としている。特に黄河流域を対象とする大きな理由は、中国という国にとっての黄河の重要性である。黄河流域は、古代中国文明の発祥の地であり、中国を代表する河と言えば、北の黄河と南の長江（揚子江）である。この黄河において 1997 年に発生した深刻な断流問題は、中国の首脳部を震撼させるものであった。この後、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ているが、現在の高い経済成長と人口増大が続けば、既に深刻な黄河の水不足はますます深刻度を深めていくことが懸念される。

黄河流域のあらゆる生産活動と生活が、黄河という一本の河の水資源に大きく依存している。水資源は、他の財とは異なり、地域に局在した資源の性格が強く、他地域からの輸入は難しい。黄河流域全体で年間に使用可能な河川水と地下水を合計した水資源量は、その年の降雨量によって異なるものの、平均すれば 580 億トン前後である。この限られた水を、上・中・下流の各地域、農業用水・工業用水・生活水の各用途に効率的に分配しつつ、生産活動を増強し、生活レベルも向上させていかねばならない。このためには、農業用水、工業用水、生活水のいずれについても、水の利用効率を大幅に改善しなければならず、生産活動・生活水準の向上を実現するには、それが向上した分だけ、単位活動当たりの水消費、すなわち原単位を大幅に低下させなければいけない。原単位の低下は、節水型灌漑農業技術、節水型生産プロセス、節水型生活スタイルなどによって実現されるが、それぞれの実現可能性・難易度は、技術的制約、政府の政策、市場条件などに影響される。本調査の大きな目的は、さまざまなセクターにおける生産増大と原単位削減の相乗効果の結果として、経済発展と水資源利用のバランスがいかんにして達成されるかを、想定しうるいくつかの将来シナリオによって考察し、それによって問題克服のための政策課題について考察することである。そのためには、農業、工業、生活のセクターごとに、水需要を予測するためのモデルの構築が必要であり、それが本調査における作業の大きな部分を占めている。

第 1 章 中国の水資源問題

本章では、中国の水資源問題に関する基本的構図と本調査の目的を概説した。水資源の需要は、各セクターのアクティビティを表す量変数（たとえば、灌漑面積・穀物生産量、工業生産額、都市人口など）と単位アクティビティに必要な水資源需要量、すなわち「原単位」（たとえば、灌漑面積当たりの灌漑用水量（「灌漑定数」）、穀物 1 トンの生産当たりの農業用水量、単位工業生産額当たりの工業用水量、都市市民 1 人当たり生活用水量など）の積和によって決定される。水需要の将来見通しは、各セクターのアクティビティの増大と原単位の改善についてどのような将来シナリオを設定するかによって決まる。本調査では、これらのシナリオを、過去のデータ等を参考にして外生的に与える、あるいは過去の

トレンドからの外挿によって設定した。

第2章 黄河の水資源問題の概要

第2章では、黄河の水資源問題の概要について、既存文献・データをレビューした。水資源管理のためには流域全体を単位として取り組む必要があるが、黄河の上、中、下流にはそれぞれ特徴的な問題がある。黄河の水の60%は上流域の降雨による。他方、黄河の特徴となっている土砂の60%は中流域で生産されている。上中流域は経済発展の遅れた西部地域に属し、主要産業は農業である。下流域は、長年の土砂堆積で河床が上昇し、天井川となっている。このため、黄河の両側を帯状に護る形で、洪水防止のための長大な堤防が築かれている。黄河には三门峡、小浪底などのダムが建設されているが、土砂堆積のためこれらのダムの寿命は平均30年と言われる。黄河の水資源管理においては、広大な流域を対象に、上、中、下流のそれぞれの経済社会的条件、自然条件に応じた総合的な水資源管理が必要である。

第3章 対策および関連研究

黄河水資源管理に関連した中国政府の取組みと、世界銀行、アジア開発銀行、日本政府（国際協力銀行、国際協力機構）などによる援助プロジェクトの概要をまとめるとともに、中国政府や各ドナーの黄河水資源問題への認識を明確化するために代表的な先行研究を整理した。

中国政府は、1997年の断流以後、水利・水務行政の改善・強化に本腰をあげて取り組んでいる。このために法律も整備され、農業・工業・生活の各分野にわたる節水対策が推進されている。黄河関連のプロジェクトとしては、1990年代前半までは水力発電・水量調節・洪水防止・灌漑等の多目的大型ダムの建設が国家の重点事業となり、世界銀行、アジア開発銀行等の援助の重点もこれに置かれてきた。しかし、1990年代後半からは、環境対策に援助の重点が移り、黄河上中流域の土砂流出防止・砂漠化防止のための植林事業、節水型灌漑事業、都市の上下水道整備などのプロジェクトが増えている。日本政府による援助もこの方向で進められている。このように、黄河の水資源管理、植林を中心とした水土流出防止事業、上下水道整備事業は、環境プロジェクトとして重要な位置を占めている。

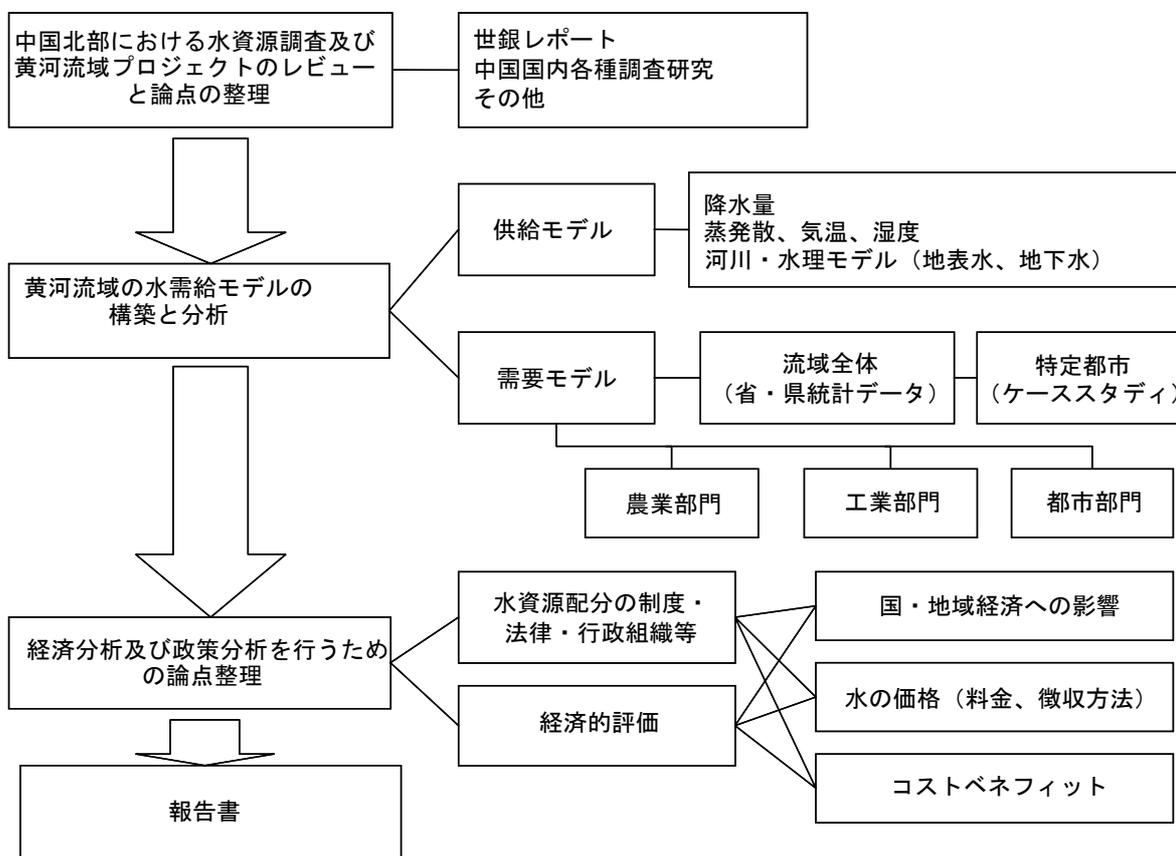
他方、黄河流域の全体を見渡した水資源需給長期展望についても、中国工程院による報告書、世界銀行による報告書など、いくつかの総合的な研究結果が発表されている。

第4章 水資源需供給分析の枠組

本章では、水資源需供給分析の枠組みを整理した。ここでは、農業用水、工業用水、生活用水のそれぞれについて、水需要の決定因子を抽出し、因子相互の関係について検討、水需要の総量を決定する活動量と原単位について、過去のトレンド、中国工程院報告書の結果などによって、基本的な問題状況を把握・整理した。また、降雨量データと、可能蒸発散量の推計データから、地域別（メッシュ別）の水資源賦存量を推計した。なお、蒸発散量

の推計については、各種の分析モデルが研究されているところであるが、黄河の実態を再現できる優れたモデルはまだ開発されていないのが現状である。

図表 S1 水資源需給分析の枠組み



出所：名古屋大学井村研究室作成

第5章 黄河流域の水資源需要予測

第4章に示した枠組みに従って、具体的に黄河流域の水資源需給予測を試みた。予測期間としては、先行研究の例にならって2050年までとした。この予測のためには、その前提となる経済・人口のマクロフレームの設定が必要であるが、ここでは中国全体の経済成長、人口増大の将来予測に関する既存報告書を参考とし、流域内の各省の過去のトレンドにより重み付けをすることによってこれを設定した。農業用水については流域全体の灌漑面積の増大と灌漑定数の低減について、いくつかのシナリオを設定することによって将来需要を考察した。工業用水については、関係する9つの省・自治区あるいは306の市県単位での工業生産および工業用水使用量のデータを収集し、過去のトレンドを将来に外挿することによって求めた。生活用水については、都市および農村の1人当たり生活用水量については世界各国の値などを参考にして将来シナリオを設定し、都市人口（都市化率）の予測値をベースに算定した。

将来の水資源需要の予測値は、設定したシナリオに大きく依存するが、原単位の大幅な削減なしでは、将来深刻な水不足に陥る結果となる。利用可能な水資源量（水資源量－生態用水）が流域全体で一定とすれば、現在、既に深刻な水不足はさらに深刻になる。現在（2000年実績）と2050年を比べると、工業用水は84億m³から148億m³に、生活用水は29億m³から75億m³に増大する。工業用水と生活用水についてのこうした増加は、工業生産の拡大、都市人口の増加、都市住民の生活レベル向上とともに必然的にもたらされるものである。農業用水については、灌漑面積が今後どれだけ増加するか、灌漑定数（単位農地当たりの水消費量）がどれだけ減少するかによって値は異なるが、大灌漑面積でしかも灌漑定数の減少率が小さい場合には、328億m³から367億m³に増大する。この結果、3つのセクターを合計した不足量は、60億m³から209億m³に増大する。これに対して、小灌漑面積でしかも灌漑定数の減少率が大きい場合の農業用水は328億m³から275億m³に減少し、全体の不足量は117億m³にとどまる。

図表 S2 将来シナリオ総括表

（単位：億m³）

		大灌漑面積（シナリオ1）			小灌漑面積（シナリオ2）		
（灌漑定数の減少：小）	2000年	2010年	2030年	2050年	2010年	2030年	2050年
水資源量	566	580			580		
利用可能量 A	380	380			380		
農業用水 W1	328	397	378	367	343	326	315
工業用水 W2	84	98	129	148	98	129	148
生活用水 W3	29	44	59	75	44	59	75
需要総量 B=W1+W2+W3	440	540	566	589	485	514	537
不足量 B-A	60	160	186	209	105	134	157

		大灌漑面積（シナリオ3）			小灌漑面積（シナリオ4）		
（灌漑定数の減少：大）	2000年	2010年	2030年	2050年	2010年	2030年	2050年
水資源量	566	580			580		
利用可能量 A	380	380			380		
農業用水 W1	328	350	334	321	302	287	275
工業用水 W2	84	98	129	148	98	129	148
生活用水 W3	29	44	59	75	44	59	75
需要総量 B=W1+W2+W3	440	492	522	543	444	475	497
不足量 B-A	60	112	142	163	64	95	117

注：農業用水については「自然体シナリオ」を採用
出所：名古屋大学井村研究室作成

第6章 今後の調査・研究課題

最後に、今後の研究課題についてまとめた。黄河の水行政は、洪水防止とダム建設に主眼を置いた従来の行政から、水資源の総合的管理行政へと転換しようとしている。このため、流域に属する各省間で水資源配分に関する調整が可能になるように、黄河水利委員会の権限を強化する方向での改革が進んでいる。各省は、水の配分量に関する厳しい制約の下で、農業、工業、生活の部門ごとに水利用の効率化を進めなければならない。このためには、市場（価格）メカニズムによって需要をコントロールする方法、地域間で水の使用権を売買する方法などが議論されているが、議論のベースとなるデータは十分とは言えず、今後の調査が必要である。ここでは、こうした政策の効果をシミュレートできるような水資源需給モデルの改善とそれに基づくより詳しい分析の方向、そのために必要なデータ収集などについて議論を整理した。

序

水は人間の生存と経済活動にとって不可欠な天然資源である。水資源の賦存には時間的、空間的な不均一があり、これが人間活動にさまざまな影響をもたらしている。アジアモンスーン地帯に属する日本では一部の地域を除いて深刻な水不足に直面することは少ないが、世界的には年間降水量が数百 mm 以下といった乾燥地帯の方が圧倒的に多い上に、農作物増産を目指した灌漑農業の拡大、都市人口の増大によって水の消費は増える一方である。中国北部を含めたユーラシア大陸内陸部では、こうした人為的圧力による水資源需要が拡大する一方で、地球規模での気候変動による乾燥化や砂漠化の傾向が加わり、水資源の不足は今後ますます深刻化することが懸念されている。中国が今後持続的成長を達成するためには、いくつかの基本的制約を克服していかなければならず、その課題の1つが黄河流域を含めた北部の水資源不足問題への対応である。

中国北部の海河、淮河、黄河という3つの河川の流域は、年間降雨量が 500mm 前後、あるいはそれ以下と少なく、既に深刻な水資源不足に陥っている。しかも、今後予想される食糧増産、工業生産の拡大、都市人口の増大、国民の生活水準向上はいずれも、既に深刻な水不足をさらに加速させる恐れが強い。その上、北部の内モンゴ地域などでは乾燥化・砂漠化が急速に進んでいる。植林を中心とした生態系保全の事業が重点的に進められてはいるものの、首都北京などを襲う砂塵嵐の発生頻度は年々増大している。他方、工業化、都市化とともに工業用水や都市生活用水の需要も急増している。都市における工業生産と市民生活のために水を優先配分すると、農業に必要な水資源が圧迫されることになり、この地域の食糧生産に影響をもたらしかねない。このため、水の消費を極力少なくする節水型農業への転換が課題となっている。また、陝西省、山西省など、これまで発展が遅れていた西部の開発が進み、生活レベルが向上するにともなって、生活用水の需要も増大し、これに対応するための上水道の建設、良質な水源確保が急務になっている。その一方で、水汚染の防止とともに汚水の再生利用にも有効な下水道・汚水処理施設の整備が重要な課題になっている。

水は基本的には流域ごとに局在した天然資源であるから、この限られた資源を何処にどれだけ、どう配分するのが一番効率的かを考えなければならない。また、経済的な効率性ととともに、地域間、セクター間の公平性の配慮も求められる。このような検討のためには、流域全体の経済社会条件の変化と水需給の関係を総合的に把握・分析する必要がある。同時に、個々の地域ごとの水問題解決には、流域内のさらに小さな地域ごとのミクロな自然条件を考慮した調査と上下水道等の整備計画の立案が求められる。

この報告書は、上述の観点から、今後水資源の不足が一層深刻化することが予想される黄河流域に焦点をあて、水資源問題の現状と課題を分析モデルにより、主に水資源の需給バランスの側面から明らかにすることを目的としている。ただし、水資源の需給分析作業はまだ基礎的なものであり、需給バランスを大きく左右する要因としての水価格形成モデル構築、水管理組織等に関する制度分析等は今後の課題となろう。

第1章 中国の水資源問題

中国は近年急速な経済成長を遂げているものの、今後の制約条件として懸念される幾つかの因子がある。まず、増大する人口と、それを養うための食糧の問題がある。これについては、レスター・ブラウンの著書『誰が中国を養うのか』(Brown, 1995)が発表されて、中国発の世界食糧危機のシナリオが世界の注目を浴び、それ以降悲観的および楽観的観点の間で議論が行われてきている(OECF, 1995)。次いで、エネルギー問題および環境問題が世界の注目を浴びている。前者は中国国内のエネルギー不足、特に近年消費量が急増する石油の不足が経済成長を制約するとの見方であり、後者は石炭中心のエネルギー消費の増大が、都市の大気汚染、広域的な酸性雨問題を発生させると同時に、地球温暖化の原因となる二酸化炭素排出量の増大をもたらしている(井村等, 1995)との見方である。更に近年重要性を増しつつあるのが水供給量の不足や水汚染等の水資源問題である。特に、中国北部における水資源不足は、今後、大きな制約になることが懸念されている。

河川流量から求めた中国国民一人当たり河川水の総量は 2,260m³ で(劉等, 2001)¹、これは日本の5分の1に過ぎない。しかも、降雨量の季節偏在および年格差が大きいため、水資源利用の安定と効率向上が困難な状況である。更に、中国の水資源は南部に豊富な一方、北部は乾燥地帯となっており、その分布は偏っている。このため、黄河、淮河、海河(北部三河)流域の水資源不足が深刻化している。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。その上、森林の減少や気候変動のために、北部の水不足は今後さらに深刻化する恐れがある。現在、水需要の70%以上は農業用水であり、食糧増産のための灌漑面積は増大し、農業用水の需要は増大しているが、工業生産の拡大と都市人口の増大によって工業用水と都市用水の需要も急増している。現在は、限られた水資源が工業と都市に優先配分される傾向があるが、その傾向が維持されれば農業部門は大きな圧迫を受ける。増大する人口を基本的に食糧自給によって養うには、単位面積・単位収穫当たりの農業用水使用量は減少させつつ、生産を増加させていかねばならない。このため農業部門の近代化、工業と農業のバランスが課題である。さらに、水不足と水質の悪化は、都市の飲料水(水道)の質を低下させ、生態系にも影響が及ぶなど深刻な環境問題に発展する可能性がある。

以上のような水資源問題の解決のためには、いかに需要を効率化して浪費を防ぐか、いかに供給を増加するかの両面を平行して検討していく必要がある。特に成長と環境の両立の観点からは、既往の研究では必ずしも十分に分析されてこなかった点、即ちリサイクル能力の向上や、水資源の効率的な利用と産業構造改革や企業の生産工程改善等の相互作用についても研究を深めていく必要がある。

本調査は、上述の問題意識を踏まえ、北部の中でも特に黄河流域を対象に、水資源の現状を定量的に把握し、水資源問題を解消する方法について、需要、供給の双方から検討することを目的としている。黄河の上流、中流、下流の各地域は、水資源と経済社会をめぐってそれぞれ特徴的な問題を有している。上中流域は、中国国内にあっては相対的に開発

¹ 1986年調査

が遅れた中西部地域に属する。その経済は主に農業に依存しており、人口増と農地開発は生態系に圧迫をもたらしている。特に、中流域は、黄土高原地帯に代表される特殊な土壌と地形条件にあり、降雨によって毎年大量の土砂（黄土）が黄河の本流・支流に流れ込んで土砂堆積問題を起こしている。土砂堆積は、ダムの寿命を縮めるとともに、河床の上昇によって洪水の危険を増大させる。このように、北部三河の中でも特に黄河流域の問題は複雑かつ多様である。

本報告書は、こうした問題の全貌を俯瞰しつつ、特に水資源の需給と、そのギャップを克服するための政策課題についてまとめることを目的としている。このため、まず、黄河の水資源問題に関する既往研究、報告書等をレビューすることによって主要な問題点を抽出する。次に、問題点の定量的分析を可能とするための水資源需給モデル、特に、経済社会の発展に応じて農業、工業、都市の各セクターの水資源需要がどのように変化していくかの需要予測のためのモデル構築を目指す。このようなモデルとしてはさまざまなものがあり得るが、入手可能なデータには制約がある。このため、ここでは、公表されている各種統計書等のデータによって可能な範囲で作業を行う。水資源の需要は、各セクターのアクティビティを表す量変数（たとえば、灌漑面積・穀物生産量、工業生産額、都市人口など）と単位アクティビティに必要な水資源需要量、すなわち「原単位」（たとえば、灌漑面積当たりの灌漑用水量（「灌漑定数」）、穀物1トンの生産当たりの農業用水量、単位工業生産額当たりの工業用水量、都市市民1人当たり生活用水量など）の積和によって決定される。水需要の将来見通しは、各セクターのアクティビティの増大と原単位の改善についてどのような将来シナリオを設定するかによって決まる。ここでは、これらのシナリオを、過去のデータ等を参考にして外生的に与える、あるいは過去のトレンドから外挿することによって設定している。モデルの高度化という意味では、多くの変数をできるだけモデル内部で内生的に決定できることが望ましいが、ここでの作業はそうした方向に向けての研究の第一歩である。これらの作業に基づき、最後に、黄河の水資源管理をめぐる今後の政策課題および研究テーマについて考察する。

第2章 黄河の水資源問題の概要

2.1 黄河流域の概要

北部三河（海河、淮河、黄河）の中で水不足が最も深刻なのは、首都北京と大工業都市天津を抱える海河流域であるが、流域面積の広大さと地域内の環境条件の多様さ、これらに起因する環境問題の重大さという面で注目されるのが黄河流域である。

中国の主要河川流域の面積、人口と水資源の状況を比較したのが**図表 2-1**である。

図表 2-1 中国の主要河川流域の比較（1997年）

	流域面積 (万 km ²)	人口 (万人)	GDP (兆元)	耕地面積 (万 ha)	降水量 (億 m ³)	水資源総量 (億 m ³)
松遼河	123.9	11,720	0.80	1,946	5,612	1,683
海河	31.8	12,270	0.89	1,084	1,165	212
淮河	33.2	19,740	1.09	1,467	2,225	625
黄河	80.0	10,530	0.52	1,241	2,631	482
長江	179.9	42,000	2.55	2,293	18,338	9,274
珠江	57.7	14,590	1.04	548	10,829	6,478
東南諸河	20.4	6,820	0.62	240	4,037	2,433
西南諸河	84.2	1,990	0.05	169	8,662	5,356
内陸河	349.5	2,670	0.13	547	4,670	1,311
全国	960.0	122,320	7.70	9,635	4,670	27,855

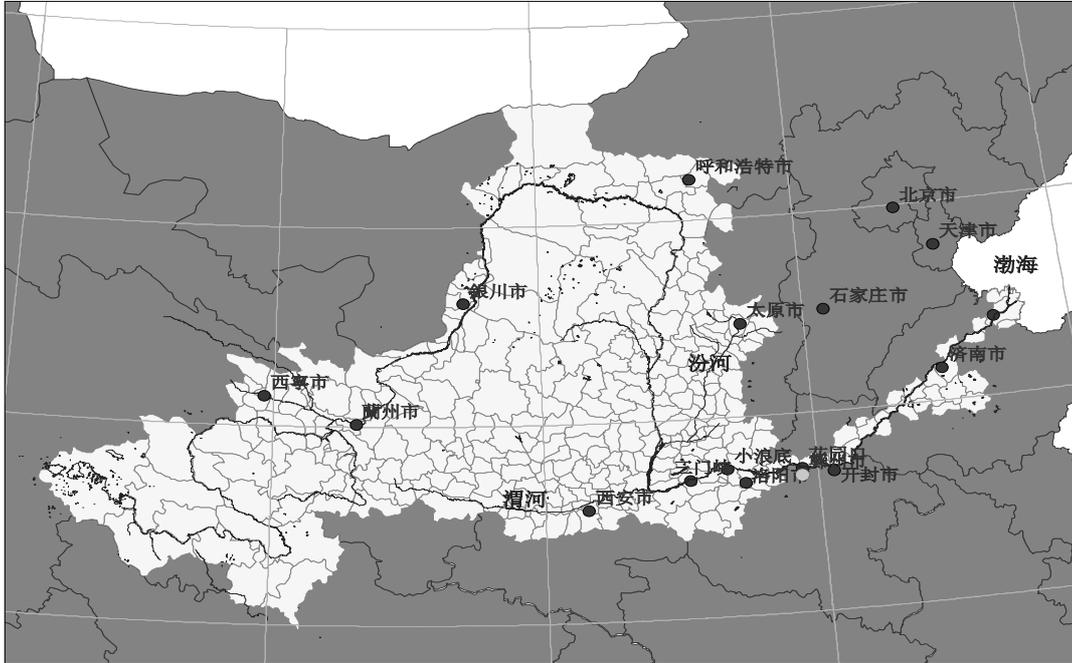
注：流域面積・耕地面積は1993年、その他は1997年のデータである。黄河流域面積の値については、出所によって少し異なる。本表の80.0万km²は『中国統計年鑑2001』に記載されている値79.5万km²より少し大きい。この違いは、河口部三角州（本文参照）の面積の扱いによるものと推察される。
出所：流域面積・耕地面積は『21世紀 中国水供求』（中国水利水電出版社）、人口・GDPは『中国水資源現況評価和供需發展趨勢分析』中国工程院、降水量・水資源総量は『中国水資源公報1997』（水利部）

黄河の流域面積は79.5万km²（**図表 2-1**では80.0万km²）、長さは5,464kmに及ぶ。その流域は**図表 2-2**のように、山東、河南、山西、陝西、寧夏、甘肅、四川、青海、内蒙古の8省1自治区にまたがり、その東西は1,900kmにわたる。なお、この流域面積には、青海省等の内流区（黄河と同じ水源地帯から発しながら、黄河には流入しない川の流域）4.2万km²を含んでおり、それを除いた値は75.2万km²である。また、洪水の影響を受ける範囲（氾濫原となる可能性のある地域）は約91.5万km²である。黄河河口は三角州になっており、その面積は5,400km²である。ここには、土砂堆積によって毎年31.3km²の陸地ができ、海岸線は毎年沖の方に390mずつ前進している。

黄河の上中下流の区分を**図表 2-3**に示す。日本全土の2倍以上の面積を持つこの広大な地域に住む人々の暮らしとあらゆる生産活動が黄河という1つの河に依存している。ちなみに、黄河と並ぶ中国の代表的な河が長江である。その全長は6,300kmで黄河とほぼ同じ

であるが、流域面積は 180 万 km² と、黄河の 2 倍以上である。また、流量は、長江の方が約 20 倍と圧倒的に大きい。

図表 2-2 黄河流域の地理的範囲



出所：中国 100 万分の 1 地形図等に基づき北京師範大学資源科学研究院作成

図表 2-3 黄河の構成

	起点～終点	長さ (km)	流域面積 (万 km ²)
黄河全体	源 (青海省) ～渤海 (山東省)	5,464 (100%)	75.2 (100%)
上流	源～河口鎮 (内蒙古)	3,472 (63.5%)	38.6 (51.3%)
中流	河口鎮～鄭州桃花峪 (河南省)	1,206 (22.1%)	34.4 (45.7%)
下流	鄭州桃花峪～渤海 (山東省)	786 (14.4%)	2.2 (2.9%)

出所：李 志東 (1999)『中国の環境保護システム』東洋経済新報社 p.36

2.2 水資源の不足

青海省の万年雪を抱く高山地帯の源流域を発した水は、途中で多数の支流の水を集めつつ、内蒙古自治区、甘肅省などの黄土高原地帯を通過して河南省に入り、ここで 1 本に合流した後、真っ直ぐに山東省を経て渤海に注ぐ。同じ水不足に悩む海淮黄三河の中でも特に黄河に関心が注がれる大きな理由は、1970 年代から多発し、1990 年代に深刻化した断流問題である。上流では大きな流量を誇っているのに、下流の河口付近では全く水が来ないという事態が発生している。その一方で、1998 年には長江流域で大洪水が発生し、深刻な

被害が報じられたことから、水問題が中国の国内政策課題のトップに躍り出ることとなった。

中国では近年の急速な経済成長にともなう工業化と都市化によって、都市の水需要は増大する一方である。他方、巨大な人口を支えるために必要な食糧を生産することも必須の政策課題とされ、灌漑のための農業用水を減らすことはできない。中国全土の有効灌漑面積（自然の降雨に頼る天水農業ではなく、農業用水路で灌漑されている耕地の面積）は、1950年の1,730万ha（劉等、2001）から、2000年の4,780万haへと増大している。1980年代以降、耕地面積（作付面積）、灌漑面積のいずれもほとんど横ばいか、やや減少気味であるにもかかわらず食糧（穀物）生産量は増大している。これは、灌漑面積の増加、化学肥料や機械化等の農業の近代化によるものである。また、同じ耕地を1年に何度も使う多毛作・多期作も増えている。図表2-4に中国の農業の状況と水資源の関係をまとめる。

都市化の進展による食生活の変化により、食糧増産の圧力はますます強まるため、今後引き続き単位耕地面積当たりの食糧生産効率を大幅に向上させなければならない。その一方で、利用可能な農業用水量には限界があり、単位生産量当たりの農業用水量は大幅に削減する必要がある。中国の水資源を考える場合、こうした都市と農村、工業と農業という国家のあり方まで含めた大局的な社会変化を考察の対象に入れる必要がある。

図表 2-4 中国の農業

年	全人口 (万人)	農作物作付 面積 (万 ha)	穀物作付 面積 (万 ha)	有効灌漑 面積 (万 ha)	化学肥料 使用量 (万トン)	穀物生産 量 (万トン)	1人当たり 穀物量 (kg)	農業用水 使用量 (億 m ³)
1978	96,259	15,011	12,059	4,497	884	30,477	316.6	—
1980	98,705	14,848	11,926	4,500	1,269	32,056	324.8	—
1985	105,851	14,638	11,723	4,489	1,776	37,911	358.2	—
1990	114,333	14,516	11,496	4,457	2,590	44,624	390.3	—
1991	115,823	14,476	11,346	4,418	2,805	43,529	375.8	—
1992	117,171	14,399	11,405	4,464	2,930	44,266	377.8	—
1993	118,517	14,422	11,288	4,445	3,152	45,649	385.2	—
1994	119,850	14,363	10,885	4,404	3,318	44,510	371.4	—
1995	121,121	14,420	11,093	4,423	3,594	46,662	385.2	—
1996	122,389	14,496	11,127	4,440	3,828	50,454	412.2	—
1997	123,626	14,487	11,012	4,438	3,981	49,417	399.7	3,920
1998	124,810	14,655	11,221	4,492	4,084	51,230	410.5	3,766
1999	125,909	14,836	11,347	4,740	4,124	50,839	403.8	3,869
2000	126,583	14,959	11,231	4,782	4,146	46,218	365.1	3,784

出所：農業用水使用量は『中国水資源公報 2000』、その他は『中国統計年鑑 2001』

黄河流域全体の平均降雨量は年間 400mm 程度と非常に少ない。図表 2-5 に、中流と下流の境に位置する鄭州、中流の西安、上流の蘭州の年間降雨データ（1999 年）を示す。西寧と銀川はさらに上流の乾燥地帯にある。これらの都市では、冬にはほとんど雨が降らず、夏に比較的多くの降雨がある。すなわち、ほとんどの降雨が 6 月から 9 月にもたらされている。また、近年、降雨量の減少による絶対的な水資源量の減少が見られる。1990 年から 1997 年の黄河流域の降水量は例年に比べ 10%～21%減少している。特に 1997 年の月別降水量は、例年より 13%～41%少なかった（陳、1998）。

図表 2-5 黄河流域都市の月別雨量

(単位 mm、1999 年)

	鄭州	西安	蘭州	西寧	銀川
1 月	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2 月	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3 月	34.8	15.2	0.6	5.1	0.0
4 月	37.7	44.5	6.5	3.6	15.3
5 月	31.2	117.5	59.6	24.5	14.6
6 月	28.5	71.6	77.2	116.9	20.7
7 月	230.7	90.5	110.7	52.1	37.5
8 月	94.3	97.4	16.7	94.4	22.0
9 月	104.0	49.0	23.4	51.0	46.6
10 月	73.3	81.8	918.2	43.0	8.2
11 月	5.7	20.5	0.0	4.5	0.0
12 月	0.0	0.4	0.0	1.0	4.3
年間	640.2	588.4	1,212.9	396.1	169.2

出所：『中国統計年鑑 2000』

図表 2-6 に、黄河の水資源に関する基礎的データをまとめる。これは、黄河水利委員会が発表している『黄河水資源公報』に基づくもので、従前公表されなかったかなり詳しいデータが掲載されている。断流問題を契機に、データの公開が進み、インターネットでも、黄河水利委員会のホームページのほか、中国水資源網、節水灌漑網、黄河信息网など、黄河や水資源をテーマにしたウェブサイトから多くの情報を得ることができる²。

水質に関しては、黄河の全長にわたって水質類型別基準の適合状況が河の長さで示されている。水質が一番悪いのがⅤ類である。特に、龍門～三門峡の中流域で汚染が目立っている。

黄河の本支流の水文観測点における流量（長期平均および 2000 年の観測結果）を、図表 2-7 に示す。2000 年においては、流域の全体にわたって長期平均値より小さかった。

² 水利部、黄河水利委員会や中国城鎮供水協会等のホームページ。「黄河網」、「中国水務網」等のインターネット上の情報網もある。

図表 2-6 黄河の水資源に関する基礎データ

	1998年	1999年	2000年
流域平均降水量 (mm/年)	462.5	398.4	381.8
降水総量 (億 m ³)	3,675.8	3,165.98	3,034.04
平均年との比較	(+3.0%)	(-11.3%)	(-14.4%)
花園口より上流の水資源総量 (億 m ³)	549.48	562.76	441.4
地表水 (億 m ³)	447.97	452.18	349.87
地下水 (億 m ³)	352.61	357.88	338.52
重複計算量 (億 m ³)	251.1	247.30	246.99
総取水量 (億 m ³)	497.12	516.82	480.68
地表水 (億 m ³)	370	383.97	346.1
総消費水量 (億 m ³)	364.8	392.74	365.89
地表水 (億 m ³)	277.07	298.74	272.32
廃水・汚水総排出量 (億トン)	42.04	41.98	42.22
工業廃水 (億 m ³)	32.52	31.18	30.68
生活污水 (億 m ³)	32.52	31.18	11.54
水質評価全長 (km)	7,247	7,247	7,247
Ⅱ、Ⅲ類 (km)	2,118	2,864	2,807
Ⅳ類 (km)	2,676	1,891	1,456
Ⅴ類 (km)	2,453	2,492	2,984

出所：『黄河水資源公報 1998、1999、2000』（黄河水利委員会）

図表 2-7 黄河本支流の観測点における年間流量実測値

(単位：億 m³)

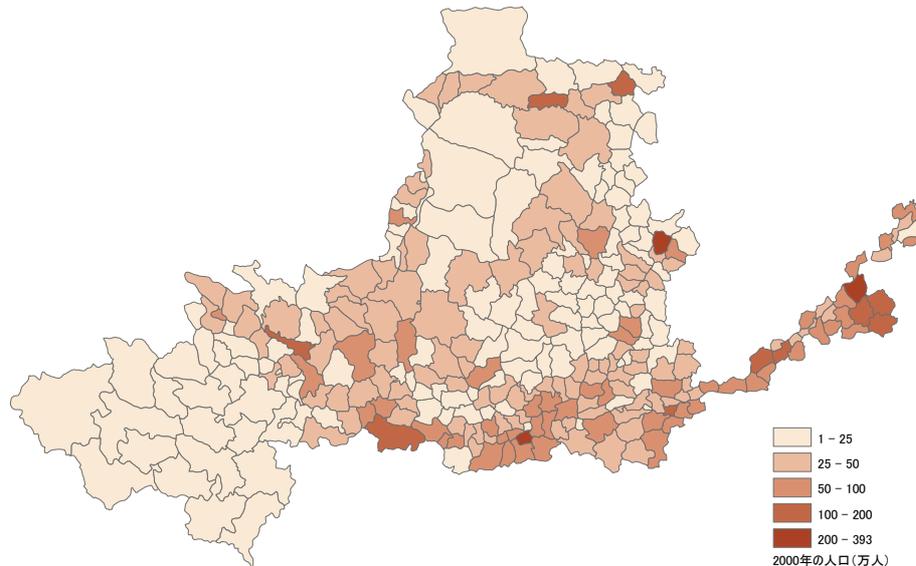
		観測点	2000年	多年平均	減少率*
本流		蘭州	259.60	316.89	-18.1
		龍門	157.20	280.27	-43.9
		三門峽	163.10	370.90	-56.0
		花園口	165.30	405.43	-59.2
		利津	48.59	337.14	-85.6
支流	湟水	民和	10.77	16.65	-35.3
	大通河	享堂	23.96	28.59	-16.2
	洮河	紅旗	24.70	47.63	-48.1
	大夏河	折橋	4.50	9.11	-50.6
	涇河	張家山	7.56	17.40	-56.6
	北洛河	状頭	5.88	9.09	-35.3
	渭河	華県	35.54	72.88	-51.2
	汾河	河津	1.51	11.51	-86.9
	伊洛河	黒石関	13.61	28.20	-51.7
泌河	武陟	4.04	9.05	-55.3	

注：減少率は、多年平均に比較した場合の減少割合である。

出所：『黄河水資源公報 1998、1999、2000』（黄河水利委員会）

水資源の需要に関しては、流域全体にわたって、消費量の年間を通じての増大があげられる。下流域（断流の観測された区間の直近上流）では、夏小麦やトウモロコシ生産のために夏に灌漑水需要が集中する。図表 2-8 は、黄河流域の人口分布であり、流域全体で約 1 億人である。また、下流域の引黄灌漑区（流域としては黄河に属さないが、黄河の水を利用している地区）を入れると人口は一挙に 1.5 億人に増加する。人口 50 万人以上の大都市は、黄河下流域および支流の渭河流域に集中している。これらの地域の経済発展および都市化に伴う水需要は増大している。近年の断流現象の原因を解明するためには、水需要の定量的な把握が必要である。その上で、それぞれの地点の供水可能量と需要量の変化を時系列的に分析する必要がある。このためには、河川から取水した水のどの程度が再び河川に戻されるのか、あるいは河川以外からの取水がどの程度であるかなど様々な要因を考慮に入れた流量モデルが必要となる。

図表 2-8 黄河流域の人口分布



出所：『中国分県農村経済統計概要（1990年）』から作成

2.3 断流とその特徴

黄河下流において、最初に断流が記録されたのは 1972 年 4 月 23 日で、山東省の利津観測所で観測され、19 日間に及んだ。黄河下流において、1972 年から 1997 年の 26 年間に断流が発生しなかったのは僅かに 6 年に過ぎない。特に、1991 年から 1997 年にかけては毎年断流が発生し、年平均の断流日数は 102.4 日に及んだ。

花園口および利津における実測データによると、水の流量も減少している。特に、1997 年の下流における断流は、降雨と河川流量が平年に比べて明らかに少なかったこともあり、

観測史上最も厳しいものであった。1950年代には花園口で482.5億 m^3 、利津で480.6億 m^3 であった流量が、97年には各々143.0億 m^3 、18.5億 m^3 と大幅に減少した。

このように深刻化した断流問題であるが、1999年～2002年については断流が発生していない。この期間、降水量は増加していないが、中国政府によれば、流域全体、特に中流域の農業用水使用についてきめ細かな管理と制限を課したことで需要が抑制され、断流を防止できたとされている。

断流にはいくつかの原因がある。水の需要側では、近年の急速な経済成長による工業化、都市化に伴う水需要の大幅な増加がある。流域全体のマクロ的な水資源管理のためには、まず地域別、セクター別の需給バランスを把握しなければならない。これは、黄河断流の人為的原因の解明につながるとともに、断流防止、水資源の合理的・効率的な利用のために実施すべき対策を明らかにする上で必要である。また、水の供給側要因としては、気候変動によって流域全体の降水量が減少傾向にあるという報告があり、これは今後、地球温暖化問題や砂漠化問題との関係から詳しく研究すべき課題になっている。

第3章 対策および関連研究

3.1 中国政府の取組み

3.1.1 対策分野

前章では、主に断流を中心とした水不足問題に焦点を当てて述べたが、黄河の水資源問題には、①洪水防止、②水資源不足の解消、③水土流出防止・水汚染防止等の環境保護、④総合的な水資源管理政策への転換という4つの大きなテーマが含まれる。

洪水は、本流・支流の各地で発生するが、特に下流域の鄭州市～開封市近辺では、長年の土砂堆積の結果、場所によっては河床が周辺よりも最高10mも高くなっているため（「懸河」と呼ばれる）、この地域で、万一洪水が生じた場合の被害は甚大である。水資源不足は、1970年代以降、下流域～河口に全く水が来ない断流問題として顕在化した。その原因は流域全体の農業および工業生産の増大、都市化による流域全体の水需要の増大である。この問題解決のためには、流域全体での水需給の調整が必要である。量的に限られた水資源を有効に利用するには、節水の励行とともに、水の循環利用・再利用が必要である。このためにも、都市生活用水、工業用水の処理と処理水の再利用が重要になっている。また、中流部では、耕地化が進んだ結果、雨によって大量の土砂（黄土）が流される水土流出が問題となっており、植林等による中長期的対策が必要とされている。

こうした現状を背景に、黄河流域の水関係プロジェクトの内容も大きく変化しつつある。これまでは、治水・洪水防止と水力発電用を兼ねた大型ダム建設が国家の重点プロジェクトとして位置づけられ、中流域では三門峡ダム（1960年完成）、小浪底ダム（2001年完成）等が建設された。また、食糧増産のための灌漑プロジェクト、農業用水、都市用水を蓄えるためのダム建設プロジェクトも活発に推進されてきた。これに大きな変化を迫ることになったのが、1997年の黄河断流と1998年の長江大洪水であった。これを契機に、中国政府は、水不足問題重視の大方針を打ち出すとともに、大きな政策転換に踏み出した。すなわち、洪水防止と発電のためのダム建設中心の政策から、水の需要抑制、水土流出防止事業等の生態環境保全事業の強化を重視した総合的な流域水資源管理政策への転換である。このため、中央政府の水利部傘下にある黄河水利委員会の権限を強化し、各省ごとに分散しがちであった水利・水務行政における中央政府のリーダーシップを強める方向での改革が進められている。具体的には、用途別の細かな節水目標（「用水定額」）の設定、節水型農業の促進、汚水処理と処理水の再利用促進、水の料金上昇による需要抑制方策の検討、水土流出防止のための植林事業などが進められている。

総合的な水資源管理の中で今後重要となるであろう課題として、上流と下流の水資源配分問題が挙げられる。上流と下流の関係は地域間の格差をも反映している。上流は貧しい農業地帯であるのに対して、下流域およびその周辺には相対的に農村に比べて豊かな都市が多く存在し、工業生産も多い。上中流の雨量の少ない乾燥地帯での食糧増産の努力は、農業用水使用量の増大をもたらすと同時に、土地の開墾による乾燥化と土壌流出に拍車をかける結果になっている。改革開放政策下での工業化路線は、工業と農業、都市と農村の

間の所得格差を拡大させている。こうした意味で、水資源の配分問題は、中国という国家の運命をも左右しかねない重要な問題である。

3.1.2 水資源管理に関する法律・規定の整備

中国では1988年1月に「中華人民共和国水法」が制定され、これに基づいて水資源の利用、保護、管理、洪水災害対策などの施策が実施されてきた。この法律の中で、節水の励行、節水型先進技術の開発、需要抑制、リサイクル、節水灌漑の採用などが規定されている。

2000年8月23日、全国人民代表大会の農業と農村委員会が行った「中国の水問題および水法の改正に関する座談会」において、李鵬委員長は「中国の深刻な水問題について考えるため、戦略的視野に立つことが必要である。水利施設と関連の法制度を整え、法に基づいて水問題を解決し、水資源の合理的な開発と有効利用と統一的管理を推し進めなければならない」と述べ、さらに、水管理に関する法律を修正するにあたっての課題の1つとして「経済・社会と資源、環境を同時に整備し、水資源のマクロ的管理が必要」と語った。これは、現在の中国の水不足問題の深刻さを反映しているとともに、具体的対策実行に向けた中央政府の強い意思表示であるといえる。特に、90年代に入り断流が深刻さを増す黄河流域においては、こうした取組みが急務であり、地域間、セクター間の水需要を調整するためのマクロ的管理が求められている。

また、都市の上水道については1994年7月に「城市供水条例」が制定されている。この条例において、都市における供水事業を推進するとともに節水に努めること、地下水利用を合理化すること、生活用水を優先することなどが規定されている。また、1998年に建設部から「城市節約用水管理規定」が出されている。

3.1.3 水利関連事業

水の供給施設としては、農業用の灌漑施設、ダム・貯水池等がある。食糧増産のための大型灌漑区（面積50畝以上。1ha=15畝）や、湛水量1億 m^3 以上の大型ダムの建設が行われている。他方で、洪水対策のための堤防、降雨時の土砂流出（水土流失）対策、蒸発によって土壤中の水分が急速に失われる結果生じる塩分蓄積・アルカリ土壌対策などの事業も推進されている。中国全体について、その状況をまとめたのが**図表 3-1**である。また、**図表 3-2**に、地域による灌漑面積の増加状況を示す。

黄河には、流量調整、洪水防止、水力発電等多目的のダムがいくつも設けられている。その数は、大型ダム（湛水量1億 m^3 以上）が21、中型ダム（湛水量1千万～1億 m^3 ）が136である。**図表 3-3**に大型ダムの現況を示す。黄河流域の水力発電開発可能量は長江に次いで全国の河川中第二位である。1995年、龍羊峽、劉家峽、青銅鏡峽、三門峽など計7つのダムの発電所の発電総量は2,740億kWhに達した。電力価格が0.065元/kWhなので、売上総額は178億元になる。このようにダム建設の重要目的は水力発電であり、ダム建設を中心とした「水利水電工程」には中国の国家的重要プロジェクトが多い。小浪底ダムは2001年に完成した最新かつ最大の貯水量を有するダムである。

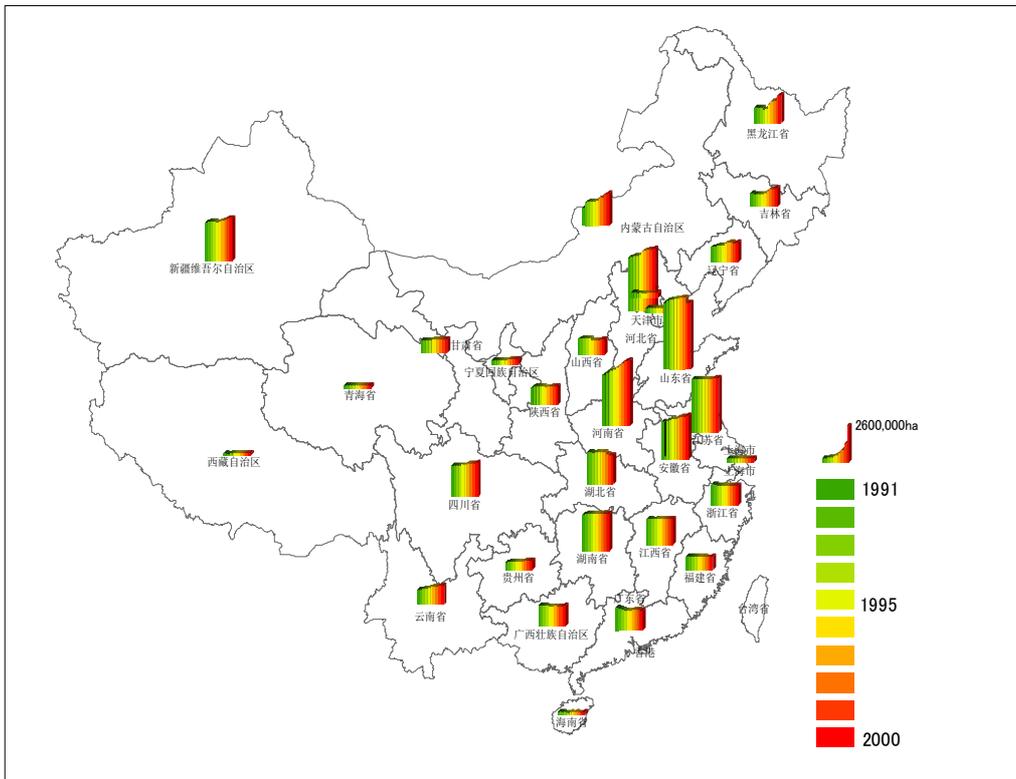
ダムと並ぶ重大事業は洪水防止のための堤防の建設・修理である。黄河の左岸と右岸にはそれぞれ河口から延長 719km、605km の堤防が築かれている。

図表 3-1 水利関連事業の実施状況（中国全土）

項 目	1985 年	1990 年	1995 年	1998 年	2000 年
灌漑区の数	5,281	5,363	5,562	5,611	5,683
3.3 万 ha（50 万畝）以上	71	72	74	79	101
2.0～3.3ha（30～50 万畝）	66	76	99	114	141
灌漑区内の有効灌漑面積（万 ha）	2,078	2,123	2,250	2,275	2,449
3.3 万 ha（50 万畝）以上	600	605	631	669	788
2.0～3.3ha（30～50 万畝）	167	190	244	277	344
ダム・貯水池の数	83,219	83,387	84,775	84,994	85,120
大型（湛水量 1 億 m ³ 以上）	340	366	387	403	420
中型（湛水量 1 千万～1 億 m ³ ）	2,401	2,499	2,593	2,653	2,704
小型（湛水量 10 万～1 千万 m ³ ）	80,478	80,522	81,795	81,938	81,996
貯水容量（億 m ³ ）	4,301	4,660	4,797	4,924	5,184
大型	3,076	3,397	3,493	3,597	3,842
中型	661	690	719	736	746
小型	564	573	585	591	594
節水灌漑面積（万 ha）	—	—	—	1,524	1,639
洪水・浸水対策面積（万 ha）	1,858	1,934	2,007	2,068	2,099
水土流失対策面積（万 ha）	4,640	5,300	6,690	7,502	8,096
塩分蓄積・アルカリ化土壌対策面積（万 ha）	457	500	543	565	584
堤防の延長距離（万 km）	18	22	25	26	27
堤防によって保護された面積（万 ha）	3,106	3,200	3,061	3,629	3,960

出所：『中国統計年鑑 2001』

図表 3-2 省別に見た灌漑面積の推移



出所：『中国統計年鑑』（各年版）

図表 3-3 黄河の大型ダム

ダム名称	1999 年末貯水量 (億 m ³)	2000 年末貯水量 (億 m ³)	貯水量の変化 (億 m ³)
龍羊峽	168	134	-34
劉家峽	27.3	28.8	1.5
万家寨	3.22	3.28	0.06
三門峽	1.78	2.38	0.6
小浪底	17.7	47.1	29.4
陸 渾	3.55	6.01	2.46
故 県	3.72	4.04	0.32
東平湖	3.07	3.52	0.45

出所：黄河水利委員会『黄河水資源公報 2000』

3.1.4 南水北調西線工程

南水北調には東線、中線、西線の3ルートが検討されており、一番先に具体化しそうなものは東線である。この東線の主目的は北京、天津、河北省を含む海河流域への導水であり、黄河の河床下をトンネルで通す計画である。中線の目的地もやはり同じであり、黄河を横断して水を北に運ぶ。これに対して、長江上流から取水し、黄河に直接引水しようとするのが西線計画である。

西線計画の検討は、1952年に黄河水利委員会が調査隊を派遣したのを契機に開始されている。その後、1989年に『南水北調西線工程初歩研究報告』が国家計画委員会と水利部に提出され、工事の基本的な案がまとまった。その後、工事の可能性と合理性が検討され、1996年に『南水北調西線工事の企画・研究に関する総合報告書』が提出された。西線の基本案は、長江上流の通天河および支流の雅竜江・大渡河から取水するもので、この三河川からの年間最大取水量は約200億 m^3 である。内訳は、通天河から100億 m^3 、雅竜江から約50億 m^3 、大渡河から約50億 m^3 である。供水範囲は青海回族自治区、甘肅省、寧夏回族自治区、陝西省、内蒙古自治区、山西省である。

黄河と長江はバヤンカラ山脈に隔てられており、黄河の河床は長江の河床より80～450m高い。このため、高いダムを築いて自然流下させるか、ポンプによって水を引き上げながら送水しなければならない。また、バヤンカラ山脈を通過する長いトンネルを開削しなければならない。どの方式を採用しても高さ200m以上のダムを建設し、100km以上のトンネルを開削しなければならない。これは技術的に極めて困難であるとともに、巨額の投資を要することから、中国国内には実現を疑問視する見方もある。

3.1.5 灌漑面積の拡大

黄河水利委員会資料によると、黄河流域および引黄灌漑地区（黄河下流から引水して灌漑している地区）の総灌漑面積は1990年には1億690畝であったが、2010年までに新規に1,598万畝建設し、合計1億2,288畝にする計画である。そのうち、黄河流域内にあるのは、6,619.8万畝（1990年）および8,217.8畝（2010年）である³。

なお、中国では農地面積の単位として畝（ムー）が使用される。15畝=1ha（ヘクタール）である。中国の多くの文献ではこれが単位として利用されるので、本報告書でもこれを使用する。データの出所によって、畝（ムー）とha（ヘクタール）が混在する不便を断っておかねばならない。

3.1.6 節水灌漑：300重点県事業

中国政府は、第9次5ヵ年計画（1995～2000年）において、農業における節水と増産に重点を置くことにした。そのため、全国300の重点県を定め、①それぞれの県の節水灌漑面積を10万畝以上増加させる、②全県の有効灌漑面積に占める節水灌漑面積の割合を

³ 黄河水利委員会公表資料、<http://www.yellowriver.gov.cn/ztcg/guihua/guihua010.htm>

60%以上にする、③節水灌漑区域内における水の有効利用効率を 20%向上させる、④穀物と棉の生産を 10%増大させるという目標を立てた。その実施に必要な資金については、中国人民銀行、中国農業発展銀行からの低利融資として 15.5 億元（1996 年）の枠を用意した。重点県は全国から選ばれたが、その中には、陝西省 22 県、甘肅省 12 県、山西省 16 県が含まれている。

また、水利部は、1996 年から「節水灌漑モデル事業」を実施している。これは、毎年 20 件の節水灌漑モデル地区を選び、1 地区あたり 100 万元を国が補助するものである。たとえば、陝西省では「白水県節水モデル区」「西安郊区高標準節水灌漑モデル区」「澄城県高標準節水灌漑モデル区」「楊凌県高標準節水灌漑モデル区」が選ばれている。

中国科学技術部は、第 10 次五ヵ年計画期間（2001～2005 年）において、12 の国家重大科学技術研究課題に総額 200 億元の投資を行うと発表した。その課題の 1 つに節水農業があげられている。

3.1.7 水土流出対策事業

水土流出問題は、黄河中流域の特殊な土壌と地形条件に由来するが、農地開拓のために地表の草や樹木を剥いできたことが大きな原因である。土砂侵食量が 1 km² 当たり年間 1,000 トン以上の地域を「水土流失地域」と定義しているが、その面積は流域全体の約 3 分の 2 の 54.4 万 km² にもなる。水土流失の対策は、①小さな流域を単位としてブロックごとにきめ細かく対策を取る、②植生の回復によって草木や森林で土壌を被う、③山・河川・田畑・森林・道路を総合的に管理するという原則によって実施されている。このため、中国政府は、モデル地域を定め、農民の参加をベースとした対策事業を実施している。これに対しては、後述するように、世界銀行や日本の国際協力銀行（JBIC）からの援助も重点的に行われている。1993 年に開始された世界銀行のプロジェクトでは、対象面積 3.4 万 km² で事業を実施した。

黄河の支流の 1 つ渭河に注ぐ涇河から導水している涇惠灌漑区（西安市の北方に位置する）を例にとると、水中に土砂が増えてきたのは宋代（西暦 10～13 世紀）以後のことで、唐代（西暦 7～10 世紀）以前の水は清らかだったと言う。水土流出を止めるには、流出の激しい地域にある農地を林に戻す事業を広範囲に展開する必要がある。この政府の方針は、「退耕環林」という標語で表されている。傾斜度 25 度以上で水土流出が著しい地域に住む農民には補償金（農地 1 畝当たり毎年 210 元を 8 年間支給）を払って立ち退いてもらい、そこに植林する事業である。一例として、西安市の黒河ダムの水源地帯では 1 万 6,000 人が移動することになり、これら移民（「生態移民」と称する）のための居住区建設には政府が資金援助している。

植林を中心としたこれらの事業は「生態建設事業」という概念に包括され、第 10 次 5 ヵ年計画（計画期間 2001～2005 年）における重点事業の 1 つとして位置づけられ、内陸・西部開発の重要な柱になっている。

黄河中上游管理局の説明によれば、これまでの対策によって、2000 年現在、毎年の土砂流出量は 1970 年代の 16 億トンから 13 億トンにまで減少した。これをさらに、2030 年には 10 億トンに、2050 年には 8 億トンにまで減らす計画である。

3.1.8 上下水道

ダム、灌漑などのプロジェクトは水利部の所管であるが、都市の上下水道整備は建設部の所掌である。

都市の非農業人口に対する用水普及率は 96.7%（2000 年）に達したが、農業人口を含めた普及率はまだ 72.3%（2001 年）にとどまっている。そもそも、都市人口が総人口に占める割合は 30%強に過ぎないので、近代的な上水道で供水されている人口はまだ全人口の 20%程度に過ぎない。

下水道整備はさらに遅れており、北京のような大都市でも下水処理率は 50%以下である。第 10 次 5 ヶ年計画期間中には汚水処理施設建設への投資を増大させる方針が示されている。

3.2 国際協力：対中援助プロジェクト

3.2.1 概要

日本政府（外務省、JBIC、JICA）、世界銀行、アジア開発銀行等による対中援助においても、黄河関連の多くのプロジェクトが推進されてきた。水問題に関連する各種プロジェクトも、上述の 4 つの分野に大きく分類できる。すなわち、

- ① 洪水防止プロジェクト：発電用を兼ねたダム（多目的ダム）の建設。堤防の建設。
- ② 水資源不足解消プロジェクト：灌漑・排水施設、貯水用ダム、都市の上水道の建設、水が豊富な水系からの引水・導水事業。節水型農業事業。
- ③ 水土流出防止・汚染防止等の環境保護プロジェクト：水土流出地域（黄土高原）における植林事業、都市下水道建設事業。
- ④ 総合的な水資源管理政策への転換：総合的流域管理のための観測システム・データベースの構築、水資源管理のための基礎的調査の実施。

各事業分野にはそれぞれ、ダム・灌漑設備等の施設建設を主とする借款事業と、技術協力、無償資金協力が含まれる。特に、第 4 の総合的な水資源管理政策への転換については、黄河水利委員会を対象に、世界銀行、アジア開発銀行、日本政府（JICA 経由）等による人材育成事業が実施されている。

以下に、各援助機関の事業を概観する。

3.2.2 日本政府

日本政府は、2001 年 10 月、対中国経済協力計画を発表した。この計画では、対中 ODA の重点分野の第一に「環境問題など地球的規模の問題に対処するための協力」を掲げ、その協力課題の 1 つとして、生態系の維持・回復のための水資源の管理や森林の保全・造成をあげている。また、沿海地域と内陸地域の経済発展の格差拡大に留意し、貧困克服のための支援を重視することを表明している。こうした方針に基づけば、黄河への大量の流入土砂の発生源である黄土高原地帯における植林事業、相対的に開発の遅れた内陸部都市の

上下水道事業などが、重要な援助案件として位置づけられる。黄河流域において最近実施されている事業の多くがこれに該当するものである。

3.2.3 国際協力銀行（JBIC）

黄河流域を対象としてこれまでに実施された水関連円借款プロジェクトを図表 3-4 にまとめる。

中国の都市では上水道施設が不足している。統計書では、水道普及率 90%以上という数字が載っているが、これは都市の非農業人口だけを対象にした値であって、全人口に対する普及率は 20%程度でしかない。また、一応水道が整備されている都市でも水源の水量が不十分なため断水が頻繁に発生したり、飲料用水としての水質がよくなかったりという例が多い。また、施設が老朽化しているため漏水も多い。このため、中国政府の要請により 10 都市を対象に「地方都市上水道整備 3 事業」を実施した。黄河流域の都市はその対象に含まれていないが、これとは別に「西安市上水道整備事業」が実施された。この事業は、延長 15.6km の水路によって西安市郊外の黒河から導水するものであった。1996 年に完成した後、1 人当たり 144ℓ/日だった給水量が 284ℓ/日に増大した。このように、西安市の上水道はおおいに改善したものの、下水道整備は遅れており、2001 年度には、西安市環境整備事業が決定された（金額 9,754 百万円、管渠部分以外について環境特利適用）。

2000 年度、陝西省・山西省・内蒙古自治区・甘肅省の 4 地域における黄土高原植林事業への支援が決定された。その合計金額は 180 億円で、環境案件として特別の優遇措置（環境特利）が適用されている（金利 0.75%、償還期間 40 年）。また 2001 年度には、寧夏回族自治区における植林植草事業への支援が決定された。同事業の合計金額は 80 億円で、同じく環境案件として特別の優遇措置が適用されている。これらの事業は、近年ますます深刻化している砂漠化と砂塵暴（砂漠化した土地からの砂塵が北京等の東部都市に襲来する事件）の問題に対処するとともに、黄河の断流・河床上昇対策をも狙いに行っている。これは、山間部における自然環境悪化と農業生産性低下・貧困の悪循環を止めるためにも重要な事業である。

図表 3-4 円借款による黄河関連プロジェクト

分野	案件名	借款契約 締結年度	実施機関	借款金額 (百万円)	備考
上水道	西安市上水道事業 (1)	1993	中華人民共和国建設部	4,587	
上水道	西安市上水道事業 (2)	1995	中華人民共和国建設部	2,552	
下水道	西安市環境整備事業	2001	陝西省人民政府	9,754	*
下水道	蘭州環境整備事業	1996	中華人民共和国建設部	7,700	
上水道	フフホト市上水道整備事業	1996	中華人民共和国建設部	5,446	
灌漑・排水	黄河三角洲農業総合開発事業	2000	山東省人民政府	8,904	
水力発電	甘肅省小水力発電所建設事業	2000	甘肅省人民政府	6,543	*
多目的	甘肅省水資源管理・砂漠化防止事業	2000	甘肅省人民政府	6,000	
林業	陝西省黄土高原植林事業	2000	陝西省人民政府	4,200	*
林業	山西省黄土高原植林事業	2000	山西省人民政府	4,200	*
林業	内モン古自治区黄土高原植林事業	2000	内モン古自治区人民政府	3,600	*
植林植草	寧夏回族自治区植林植草事業	2001	寧夏回族自治区人民政府	7,977	*

注：備考の*印は、特別環境金利（0.75%）適用を示す。

出所：国際協力銀行

3.2.4 国際協力機構（JICA）

JICA は、2000～2004 年の 5 年間にわたって、黄河の総合的な水資源管理を支援するためのプロジェクト方式技術協力事業として「中国水利人材養成プロジェクト」を実施している。これは、中国政府水利部が 1997 年に設置した「水利部人材資源開発センター」に対する技術協力を目的にしている。このセンターの重点目標は、老朽ダム修復による貯水力向上、治水・砂防施設の連携による流域洪水対策、施設品質向上と適切な維持管理であるが、この目標達成のためには、技術指導者育成に対する支援が必要である。このため、このプロジェクトでは、水資源管理、工事建設管理、砂防、研修管理の 4 分野における水利指導者の研修コースを設置し、全国の初級・中級技術者を指導する講師（2,000 名）の育成を行っている。これは中国全国を対象とした事業であるが、黄河関係についても、黄河水利委員会や関連各省の水利関係部局に所属する多数の技術者が研修コースに参加している。

また、水資源需要の 7 割以上を占める農業部門における節水を目指して、「中国大型灌漑区節水かんがいモデル計画」事業を実施している（国際協力事業団、2002）。これは、2001～2005 年の 5 ヶ年事業で、3 つの大型灌漑区を重点モデル灌漑区に選び、そこを対象に「節水かんがいモデル事業」を行って「節水改良マニュアル」の作成を目指すものである。3 つのモデル灌漑区のうち 2 つは、黄河流域に属する陝西省涇惠渠灌漑区（9 万 ha）と甘肅省景泰川電力提灌漑区（2 万 ha）である。なお、本プロジェクトの実施機関は、水利部所属の中国灌漑排水発展センターであり、このセンターとの技術協力は 1993 年から実施されている。

以上のほか、JICA は、排水処理、植林、農業技術などの多くの分野で、専門家派遣、研修生受け入れなどの事業を実施している。

3.2.5 世界銀行

世界銀行は、農業（灌漑・排水、構造改善）、天然資源管理などの分野で、灌漑、ダム、植林など多くの事業を実施している。世界銀行による黄河関連プロジェクトを図表 3-5 にまとめる。

このうち、万家寨導水プロジェクトは、水不足の山西省北部（大同市、朔州市、太原市を含む地域）に、黄河上流の万家寨ダム（山西省の北部、内蒙古自治区との境に位置する）から導水するプロジェクトである。総工費 193 百万ドルで、1997 年 9 月に工事を開始し、2001 年 9 月に完成した。導水総量は年間 12 億 m³、水路の多くはトンネルである。水不足の陝西省南部（関中平野）においても、南部の秦嶺山脈を越えた長江水系から導水するという計画が検討されており、万家寨プロジェクトがその参考にされている。

世界銀行は貧困撲滅を旗印にしており、中国西部・内陸部の事業においてもそれを重点にしている。「関中地域灌漑改善プロジェクト」と「黄土高原集水域再生プロジェクト」(Loess Plateau Watershed Rehabilitation) はその目的にそったものであり、1999 年、前者に対しては 80 百万ドルの借款と 20 百万ドル相当の信用保証、後者に対しては 100 百万ドルの借款と 50 百万ドル相当の信用保証が認められた。なお、後者については、既に 1994 年に第 I 期事業が開始されており（150 百万ドルの借款）、これはその継続である。関中地域は、古代から開拓された生産性の高い農耕地帯であるが、その灌漑施設の多くは 1950 年代、60 年代に建設されたものである。関中地域灌漑改善プロジェクトは、この老朽化した灌漑・排水システムを改善することによって穀物の生産性を上昇させることを目的としている。他方、「黄土高原集水域再生プロジェクト」は、山西省、陝西省、甘肅省、内蒙古自治区にまたがる黄土高原地帯において、降雨による土砂流出を防止することによって農地を保全し、生産性を向上させることを目的にしている。その対象地域は、面積 15,600 km²、黄河に属する 9 つの支流にまたがっている。これは、中国政府が推進しようとしている生態建設事業の方向と一致している。

また、世界銀行は、水利部の人材養成、技術能力向上のための技術協力プロジェクトも実施している。特記すべきは、豪州政府、中国政府水利部、世界銀行の協力によって実施された『華北水資源アジェンダ』に関する研究である。豪政府（オーストラリア国際開発庁）はこの研究のために 2.5 百万豪ドルの資金提供を行った。その報告書は、海河、淮河、黄河の三河流域を対象に、入手可能な水利・水文データを入手し、詳細な分析を加えた上で、農業・工業・都市各セクター別の水需要量の将来予測を行い、今後懸念される水資源需給ギャップのレベルとその対策について論じている。

図表 3-5 世界銀行による黄河関連プロジェクト

分野	プロジェクト	承認年	金額（百万米ドル）
農業（灌漑・排水）	関中地域灌漑改善プロジェクト	1999	100
農業（灌漑・排水）	安寧渓谷農業開発プロジェクト	1999	120
農業（灌漑・排水）	貧困地域における林業開発プロジェクト	1998	200
農業（構造改善）	小浪底多目的プロジェクト（2）	1997	430
農業（構造改善）	秦巴山地貧困削減プロジェクト	1997	180
農業（構造改善）	小浪底多目的プロジェクト（1）	1994	460
農業（灌漑・排水）	万家寨導水プロジェクト	1997	400
農業（灌漑・排水）	甘肅河西走廊プロジェクト	1996	150
天然資源管理	持続可能な林業開発プロジェクト	2002	93.9
天然資源管理	黄土高原集水域再生プロジェクト（2）	1999	150
天然資源管理	黄土高原集水域再生プロジェクト（1）	1994	150

出所：世界銀行、<http://www.worldbank.org/>

3.2.6 アジア開発銀行

アジア開発銀行がこの地域で行っている黄河関連事業としては、例えば、「水セクターの戦略的運営」（1997年開始）がある。この事業では、黄河水利委員会を含めた水利・水務関係部局の能力形成を行っている。また、水料金に関する調査（1997年および1999年）、水土保持のための国家戦略作成に関する技術協力（2000年）も実施している。アジア開発銀行による黄河関連プロジェクトを図表 3-6 にまとめる。

また、2001年8月には、「黄河洪水管理プロジェクトのための対中技術援助資金提供」に関する報告書を発表している。この報告書は、洪水防止一辺倒であった従前の水利行政を、流域全体にわたる総合的な水資源管理行政に転換させることの重要性和、そのために必要となる法律・制度・行政組織の改革、能力形成について述べている。

図表 3-6 アジア開発銀行による黄河関連プロジェクト

分類	事業	承認年	金額 (千ドル)
技術協力	水資源プロジェクトの予備的分析	1995	99
	水土保持のための能力形成	1995	590
	水料金に関する調査	1997	600
	水セクターの戦略的運営	1997	1,180
	陝西省における環境管理改善	1997	935
	水料金に関する調査Ⅱ	1999	950
	水土保持のための国家戦略作成	2000	800
	乾燥地生態系の土壌劣化に関する GEF パートナーシップ	2000	100
プロジェクト 準備のための 技術協力	浙江・山西水保全プロジェクト	1995	1,000
	山西環境改善	1997	590
	寧夏沙坡頭の水資源	2000	930
	河北省排水処理	2000	850
借款	西安－咸陽－潼川水供給プロジェクト	1997	156,000
	浙江・山西水保全（第Ⅰ期）プロジェクト	1997	100,000

出所：アジア開発銀行『Report and Recommendation of the President to the Board of Directors on A Proposed Loan and Technical Assistance Grant to the People's Republic of China for the Yellow River Flood Management (Sector) Project』

3.3 黄河水資源問題に関する研究

黄河の洪水防止、渇水対策、土砂流出等の諸問題は中国自身にとって極めて重要であり、これまでに多くの研究が実施されている。その中でも、特に、黄河の水資源需給の現状と将来予測を含めた総合的な研究の報告書としては以下のものがある。

3.3.1 中国工程院報告書『中国の持続可能な発展のための水資源戦略』

1997年の黄河断流と1998年の長江洪水は、中国政府指導部に深刻な危機感を抱かせた。このような中国政府の諮問を受けて作成されたのが中国工程院の『中国の持続可能な発展のための水資源戦略』報告書である。中国の持続可能な発展のための水資源戦略として、次の8つの研究課題を設定し、中国国内の専門家（中国科学院および中国工程院の院士43名と、300名近くの外部専門家）を総動員してまとめている。

- ① 水資源の現状と需給将来予測
- ② 洪水被害の防止
- ③ 農業用水需要の実態と節水型農業の建設
- ④ 都市における水資源の持続可能な開発利用
- ⑤ 河川・湖・海における被害防止対策
- ⑥ 生態環境建設と水資源利用

- ⑦ 華北における水資源の合理的配置と南水北調問題
- ⑧ 内陸・西部における水資源開発利用

この報告書は、**図表 3-6** に示す全 9 巻で構成されている。第 1 巻は全体の総括報告書であり、残りの 8 巻は各々上記の各テーマに対応している。この報告書は、中国国内に蓄積された技術的知見やデータを総集したものといえる。しかし、社会経済的な側面や水資源需要将来予測などについては、専門家の判断をベースにしたものが多く、外部から見るとブラックボックスの部分が多い。

図表 3-7 中国工程院報告書『中国の持続可能な発展のための水資源戦略』の構成

第 1 巻	総合報告及各專題報告
第 2 巻	中国水資源現状評価和供需発展趨勢分析
第 3 巻	中国防洪減災対策研究
第 4 巻	中国農業需水與節水高効農業建設
第 5 巻	中国城市水資源可持續開発利用
第 6 巻	中国江河湖海防汚減災対策
第 7 巻	中国生態環境建設與水資源保護利用
第 8 巻	中国北方地区水資源的合理配置和南水北調問題
第 9 巻	中国西部地区水資源開発利用

出所：『中国の持続可能な発展のための水資源戦略』

3.3.2 世界銀行報告書『華北水資源アジェンダ』

華北の水資源問題に関して実施されたもう 1 つの総合的な研究報告書としては、中国水利部・世界銀行・オーストラリア国際開発庁の共同研究で実施された『華北の水部門戦略アジェンダ (“China Agenda for Water Sector Strategy for North China”)』(以下では『華北水アジェンダ』と呼ぶ)がある。これは、以下の三部構成になっている。

- Vol.1: Summary Report (第 1 部：要約)
- Vol.2: Main Report (第 2 部：本体報告書)
- Vol.3: Statistical Annexes (第 3 部：統計に関する付録)

この報告書の目次構成 (Vol.1 Summary Report) は次のとおりであり、北部三河 (海河・黄河・淮河) について、幅広い問題のほとんど全てをカバーしている。また、その第 3 部 (統計に関する付録) には、北部三河流域の地図が本流・支流を含めて掲載されている。この報告書は世界銀行および中国側の水利部を中心とした多数の専門家の参加によりまとめられたものである。特に水資源の将来需要予測については、独自の経済社会発展シナリオを設定して分析している。また、流域の詳細な GIS データに基づいて、水利・水文モデルを構築していることは特記に値する。しかし、前述の中国工程院報告書との内容的整合性は必ずしも明確にされていない。また、水利・水文モデルも外部には公開されていない上、多数の専門家が参加した作業であるため、プロジェクトの終了とともにその維持・管理がどうなったのかは未確認である。

図表 3-8 『華北水資源アジェンダ』目次

1. 序論
2. 経済社会の変化が水セクターに及ぼす影響
3. 水資源とその問題点
4. 皆に十分な水を供給するために
5. 洪水とその被害
6. 皆に十分な食糧を供給するために
7. 皆にきれいな水を供給するために
8. 排水の再利用
9. 地下水
10. 制度の運営
11. 行動計画の提案

出所：『華北水資源アジェンダ』

3.3.3 その他

上記の2つの報告書は、黄河を含めた中国全体あるいは華北の水資源問題に対する総合的な報告書であり、豊富なデータに基づいて既存の知見を集大成したものと言える。この他、巻末の参考文献に示すように、中国の水問題全般を解説した書物、あるいは中国の環境問題全般、河川・湖沼・地下水の水汚染、節水型農業、南水北調や、西部大開発と水問題などに関して多数の報告書、研究論文がある。

第4章 水資源需給分析の枠組み

4.1 分析の目的と内容

黄河の水資源問題に関する研究課題は、その現状評価、将来予測、問題解決のための政策のあり方など、多岐にわたる。また、対策のためには、農業、工業、都市生活の全面にわたって、技術、経済、制度を含めた多面的な角度からの検討を要する。このため、本報告書は、今後必要となるこれらの本格的調査研究の第一ステップとして、黄河流域の水資源の現状を需要、供給の両面から定量的に把握し、今後さらに詳細な調査分析が必要となる課題と解析のアプローチの方法を明らかにすることを目的としている。

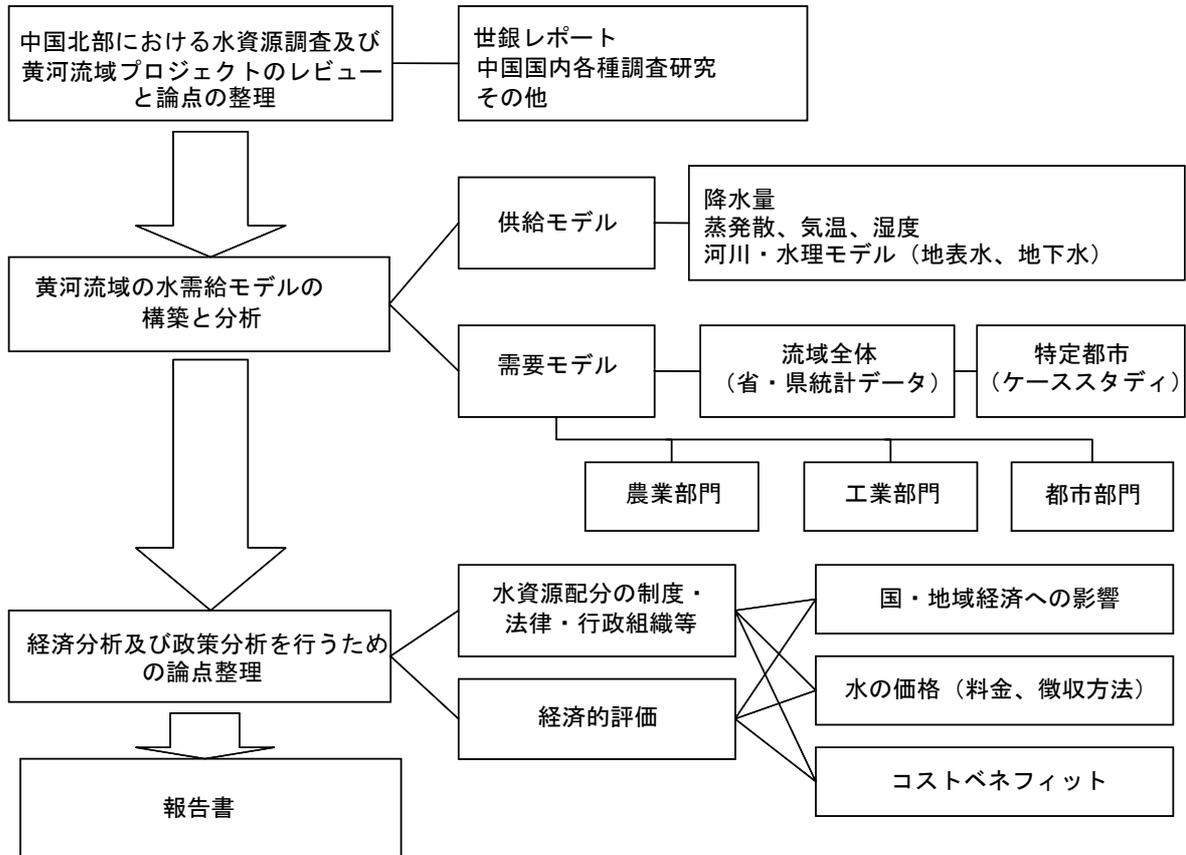
黄河の水資源問題については、第3章で述べたように、中国政府自身はもとより、さまざまな調査機関、国際開発援助機関によって調査・研究が行われている。これらの報告書は豊富なデータに基づく総合的な分析を行っており、各セクター別の水資源需要の将来予測も提示されている。しかし、分析の基礎となった一次データはほとんど公表されておらず、外部者にとってその結果を追試・検証することは難しい。また、分析の対象とした問題領域が非常に広範なため、全貌の把握も難しい。

こうした状況を踏まえ、本調査では、中国の中央政府、省・市によって公表された統計書等、現在入手可能なデータを利用した水資源需給モデルを構築し、これによって将来予測を行う。それによって、今後、水資源の制約が中国経済にどのような影響をもたらすか、中国自身としてどのような対策を取ることになるのか、日本を含めた国際社会に求められる支援は何か、特に日本に期待される役割は何かといった問題点を考察するための基礎資料を得ることが可能となる。

本章ではモデル構築に先立って、水資源需給の現状、分析の課題などについて予備的な考察を行う。上述の既存文献調査とデータ分析の結果を踏まえ、黄河流域における水資源不足の現状をまとめ、需要、供給の両面からの論点を概括的に整理、検討する。これによって、より合理的な水資源政策を追及する上での政策のプライオリティを明らかにする。その上で、今後の水資源管理政策上、特に重要な役割を果たすと見られるテーマを絞り、具体的なプロジェクトの実施可能性も念頭に置きつつ、今後の調査課題と調査方法を明らかにする。

以上の分析の枠組みを図表 4-1 に示す。この報告書では特に、需給モデルのうち需要モデル部分の構築と、経済分析および政策分析を行うための論点の整理に重点を置いている。

図表 4-1 水資源需給分析の枠組み



出所：名古屋大学井村研究室作成

4.2 水資源需給の決定因子

水資源問題は、空間的、時間的な資源の偏在に起因する需給のアンバランスの問題とすることができる。問題の理解のためには、地域ごとの供給能力と需要構造を分析する必要がある。供給能力を左右するのは地域の気象・気候条件（雨量、気温、湿度、日射量等）等の自然条件とダム、上下水道、灌漑施設等の人工的施設である。地域の気象・気候条件は短期的にはある平均的条件によって代表することができるものの、長期的には地球規模での気候変動、たとえば地球温暖化の影響や砂漠化の影響を受ける。

また、需要量は大きく農業、工業、生活の3つのセクターに区分されるが、セクターごとに水の需要を決定するさまざまな因子がある。これを整理したのが図表 4-2 である。ここで、生活セクターについては、日本と違って都市と農村の経済格差・生活水準の格差の大きい中国では、水の消費量・消費特性も都市と農村で大きく異なるので両者を別に扱う必要がある。ちなみに、黄河水資源公報等の中国のデータでは、都市は「城鎮生活」、農村は「農村人畜」と区分して計上されている。さらに、上記の3セクター以外にもう1つ重要なのは、生態系維持のために必要な水である。まず、河川やダムの底に堆積する土砂を流すためにどうしても一定の流量を保つ必要がある。また、華北のような乾燥地帯で自然

的な生態系が少なく、人工的な土地利用が支配的な地域では、人間が水を占有してしまうと、河川、森林、動植物等の生態系が維持されなくなってしまう。都市では、公園の緑や街路樹を維持するためにも多くの水（「環境用水」）が必要である。また、上流地域では砂漠化が進行しており、植林のための水の確保も大きな課題である。

図表 4-2 水需要の決定因子

	農業	工業	生活	環境用水
水需要をもたらす原因因子	<ul style="list-style-type: none"> 食糧生産 作物別耕地面積（米、小麦、トウモロコシ、・・・） 	<ul style="list-style-type: none"> 工業生産 製品別生産量（鉄、紙、繊維、・・・） 	<ul style="list-style-type: none"> 人口（都市人口、農村人口） 所得階層別人口 	<ul style="list-style-type: none"> 自然生態系（緑地、森林、湖沼、動物） 都市内生態系（公園、街路樹等）
技術的因子	<ul style="list-style-type: none"> 農法（灌漑農業、天水農業、節水型農業） 生産性（単位面積当たり水消費量と収量） 	<ul style="list-style-type: none"> 生産工程 生産性（単位生産当たり水需要量） 	<ul style="list-style-type: none"> 生活スタイル（水洗トイレ、入浴、・・・） 上下水道の普及率 中水利用施設 機器の普及率と水利用効率（洗濯機、節水型トイレ） 	<ul style="list-style-type: none"> 植林 緑化
経済的因子	<ul style="list-style-type: none"> 水資源価格 灌漑施設建設費 作物価格 	<ul style="list-style-type: none"> 工業用水価格 製品価格 	<ul style="list-style-type: none"> 上水道料金 下水道料金 世帯当たり収入 	
制度的因子	<ul style="list-style-type: none"> 水資源配分の行政、制度 			

出所：名古屋大学井村研究室作成

4.3 水需給モデルの構築にあたって

中国北部の水資源不足の問題を定量的に把握・分析するため、必要なデータの収集を行い、黄河流域を対象とした基本的な水需給モデルを構築する。この分析のためには、供給サイド、需要サイドの両面からのアプローチが必要である。

供給サイドについては、流域全体の気象・気候（降雨パターン、地表面からの蒸発散）、地表水・地下水のフロー等を入れた水文モデルが必要となるが、その構築には多大な労力を要するので、この報告書では、基本的に、地域別降雨パターンからの水資源賦存量の推計にとどめる。

他方、需要サイドは、セクターごとの人間活動（アクティビティ）のレベル（たとえば、灌漑面積、工業生産）と、単位の活動当たりの水資源需要量（原単位。たとえば、灌漑面積当たりの用水量、工業生産当たりの用水量）によって決定される。この分析に必要なデータのかなりの部分は国・省・県別の各種統計書から得られるものの、統計書からは入手できないデータ項目もある。既存報告書には多くの解析結果が紹介されているものの、解

析の基礎となった一次データは記載されておらず、外部者にとってはブラックボックスとなっている。したがって、新たな解析を行うためには、自ら基礎データを収集し直した上で解析を行い、その結果を既存の調査結果と比較検討してみる必要がある。このため、本調査では、統計書等のデータでどこまでの分析が可能かを明確にするとともに、分析をさらに進展させるために必要なデータ項目とその入手方法を明らかにしている。

以下では、その作業の第一ステップとして、既存の各種統計資料や報告書を基に、黄河流域の水資源需給の概要をまとめる。県・市別のさらに詳しいデータに基づく需給モデルの構築とその結果については次章で述べる。

4.4 水資源の賦存量と供給ポテンシャル

水資源の供給能力については、自然界から得られる量的制約と、その制約を克服するための技術および政策の両面から検討が必要である。自然界からの水の供給は、時間的、空間的に不均等なので、貯水や導水などの事業が必要である。また、一度使った水の循環、再生利用の量を拡大することも課題である。

4.4.1 水資源量

中国の資料では、河川・湖沼等の地表水または地下水の形で人間が実際に利用できる水の量を「水資源量」と称している。

流域全体で使用可能な水資源量は降水量で決定される。しかし、降水のすべてが利用可能なわけではない。土地の表面からの蒸発、あるいは植物の葉から呼吸によって発散される分がある（蒸発散）。特に、黄河流域のような乾燥・半乾燥地帯では、蒸発散によって失われる割合は非常に大きく、全体の半分以上にもなる。乾燥・半乾燥地帯では、農業のための灌漑水路も蒸発を防ぐために地下化するなどの工夫が必要である。

降雨として得られた水のうち、水資源として利用可能なのは、地表水（河川、湖沼等の水）および地下水である。ただし、地表水と地下水の間には相互に移動があるので、それぞれの量を別に計上すると重複が発生する。このため、その分を差し引く。すなわち、

$$\text{水資源量} = \text{地表水} + \text{地下水} - \text{重複分} \quad \dots (1)$$

である。この式(1)で定義された水資源量は、あくまでもその地域（たとえば、対象とした省や流域の内部）の降雨量と自然条件だけによって決まる水資源量であり、地域外（たとえば、他の省や流域）からの流入分は含まれていない。『中国水資源公報』や『黄河水資源公報』に記載されている「水資源量」とはこのように定義された量である。しかし、流域の一部地域だけを対象とした場合、その地域で実際に利用可能な水資源には上流からの流入分が加わり、上流で多くの水が使用されれば、下流に来る水量は減少する。

図表 4-3 に、流域別に見た降水量と水資源量（2000 年）を示す。南の長江に比べた場合、黄河の水資源量は降水量で 6 分の 1、利用可能な水資源総量で 18 分の 1 という少なさである。

図表 4-3 流域別水資源量の比較（2000 年）

(億 m³)

流域	降水量	地表水	地下水	重複計算量	水資源総量
松遼河	5,415.68	1,122.74	577.78	305.47	1,395.05
海河	1,559.36	125.18	221.95	77.57	269.56
淮河	3,062.29	877.09	498.77	142.99	1,232.87
黄河	3,043.46	456.07	351.56	241.78	565.85
長江	19,561.45	9,924.09	2,516.30	2,407.97	10,032.42
珠江	8,548.94	4,401.16	1,110.60	1,082.37	4,429.40
東南諸河	3,723.67	2,117.04	546.8	534.92	2,128.92
西南諸河	9,517.54	6,122.46	1,690.54	1,689.75	6,123.25
内陸河	5,659.95	1,416.11	987.56	880.17	1,523.50
全国	60,092.34	26,561.94	8,501.86	7,362.99	27,700.81

出所：『中国水資源公報 2000』

式(1)で定義した水資源量は、実際の河川の流量や地下水位から観測によって求めることができる。ここで、我々の関心事は、黄河流域に属する色々な地域における水の充足度（あるいは不足度）であるが、それを知るためには、地域ごとの水資源量データが必要である。これについては、水利部が 1997 年以降毎年、『水資源公報』を發表し、黄河については黄河水利委員会が『黄河水資源公報』を公表するようになった。その中で全国あるいは流域あるいは省別の水資源量（地表水量、地下水量、重複分）が發表されている。しかし、1つの省内の市や県レベルでの水資源量は不明である。

実際に、式(1)に基づき、市や県の単位で細かく水資源量を求めるには、河川、地下水を含めた流域全体の水収支を把握する必要がある。そのためには、本流、支流、地下水系およびダムを含めたネットワーク全体について、多数の観測点での流量、流速、地下水位等のデータが必要である（常炳炎、1998）。中国水利部や黄河水利委員会はこうしたモデルとデータベースを有しているが、外部者には利用できない。こうしたデータが得られない場合の水資源量の推定方法として、次式がある。

$$\text{水資源量} = \text{降雨量} - \text{蒸発散量} \quad \dots (2)$$

本報告書では、式(2)によって、地域ごとの水資源賦存量を計算し、これによって各地域でどれくらい水が利用できるか、あるいは不足しているかの指標とする。具体的には、降水量データを用いて降雨量の面的分布を推計する。また、ソーンスエート (Thornthwaite) 法（榎根、1989）によって蒸発散量を推計し、降水量からこれを差し引くことにより、水資源賦存量を求める。降水量、気温のデータとしては、中国の過去 30 年間の観測点データを利用する。空間分布は、20km メッシュの精度にする。なお、蒸発散量は、気温、土壌水分、被覆状態などに依存するが、ここでは文献（陳、1998）を参考に計算に必要なパラメータ値を設定する。

理論的には、水資源の総量に関して、式(1)と式(2)は一致するはずである。しかし、黄河のような広大な流域について、整合性の取れた形で両者の計算を行うのは非常に難しい。

従って、式(2)で計算する水資源量は、地域ごとの水資源賦存量あるいは供給ポテンシャルを表わす指標と考えるのが妥当であろう。すなわち、計算で得られた蒸発散量の値と実際の蒸発散量の間には一応正の関係はあるものの、正確な量的関係付けは今後の検証課題である。なお、蒸発散量の推計には幾つもの経験式が提案されているが、どの式が中国北部の実情に合致しているかもやはり今後の検証課題である。

4.4.2 黄河の水収支

上流で水を多く使えば、その分だけ下流で使用できる水資源は減少する。下流での供給可能量を増大させるには、上流での使用制限、節水が必要である。実際に、上流でどれだけの節水が可能で、それによって下流での供給可能量がどれだけ増大するかを分析するには、需要サイドからのアプローチが必要である。

ある地域で一度使用された水の一部は最終的には蒸発散によって消失し、残りは再び河川に戻されるか、地下に浸透して地下水に戻される。また、地下水から河川に行く分もある。この量的関係を明らかにするため、『黄河水資源公報』では、「取水量」と「耗水量」を区別した上で値を示している。「耗水量」は、取水された後、さまざまな目的に利用された後に蒸発散によって消失する分である。「取水量」と「耗水量」の差分は使い残しであり、再び河川あるいは地下水に戻され、上流から下流に移動する。

図表 4-4 は、黄河流域を上流から河口まで 8 つの分区に分け、それぞれの取水量と耗水量のバランスを示す。図表 4-5 および図表 4-6 は、地表水と地下水のそれぞれについて、分區別・用途別に「取水量」と「耗水量」を見たものである。これらの表によって、黄河の上流から下流に行くに従って、何処で、何の目的で、どれだけの量が取水され、水が失われていくかが理解できる。2000 年の数値によって全貌をまとめれば、黄河流域全体の降雨量は 3034.04 億 m^3 、このうち地表水・地下水として利用可能な水資源総量は 565.85 億トン（中国水資源公報の数値）である。そこから累積で 480.65 億 m^3 が取水され、365.89 億 m^3 が消失している。こうして、水資源総量の 65%、取水総量の 76% が使い尽くされている。

図表 4-4 黄河流域分區別に見た取水量と耗水量（2000年）

（億 m³）

流域分區	項目	合計		地表水		地下水	
		分區値	累計値	分區値	累計値	分區値	累計値
蘭州以上	取水量	40.06	40.06	34.7	34.7	5.36	5.36
	耗水量	29.38	29.38	27.04	27.04	2.34	2.34
蘭州～頭道拐	取水量	187.73	227.79	161.23	195.93	26.5	31.86
	耗水量	121.8	151.18	102.66	129.7	19.14	21.48
頭道拐～龍門	取水量	10.44	238.23	6.4	202.33	4.04	35.9
	耗水量	9.53	160.71	6.27	135.97	3.26	24.74
龍門～三門峽	取水量	93.28	331.51	37.61	239.94	55.67	91.57
	耗水量	73.47	234.18	33.73	169.7	39.74	64.48
三門峽～花園口	取水量	31.58	363.09	16.02	255.96	15.56	107.13
	耗水量	23.55	257.73	14.12	183.82	9.43	73.91
花園口～利津	取水量	108.3	471.39	83.06	339.02	25.24	132.37
	耗水量	99.27	357	81.42	265.24	17.85	91.76
利津以下	取水量	6.85	478.24	6.85	345.87	0	132.37
	耗水量	6.85	363.85	6.85	272.09	0	91.76
黄河内流区	取水量	2.44	480.68	0.23	346.1	2.21	134.58
	耗水量	2.04	365.89	0.23	272.32	1.81	93.57

出所：『黄河水資源公報 2000』

図表 4-5 黄河流域の分區別・用途別に見た地表水の取水量と耗水量（2000年）

（億 m³）

流域分區	項目	合計	農業	工業	城鎮生活	農村人畜
蘭州以上	取水量	34.7	25.05	7.38	1.04	1.23
	耗水量	27.04	19.35	5.52	0.94	1.23
蘭州～頭道拐	取水量	161.23	153.18	6.3	1.39	0.36
	耗水量	102.66	100.58	1.24	0.48	0.36
頭道拐～龍門	取水量	6.4	5.35	0.44	0.11	0.5
	耗水量	6.27	5.29	0.37	0.11	0.5
龍門～三門峽	取水量	37.61	29.18	4.95	2.35	1.13
	耗水量	33.73	26.84	3.52	2.24	1.13
三門峽～花園口	取水量	16.02	12.13	3.03	0.51	0.35
	耗水量	14.12	11	2.26	0.51	0.35
花園口～利津	取水量	83.06	73.11	6.27	3.55	0.13
	耗水量	81.42	71.48	6.26	3.55	0.13
利津以下	取水量	6.85	6.85	0	0	0
	耗水量	6.85	6.85	0	0	0
黄河内流区	取水量	0.23	0.23	0	0	0
	耗水量	0.23	0.23	0	0	0
合計	取水量	346.1	305.08	28.37	8.95	3.7
	耗水量	272.32	241.62	19.17	7.83	3.7

出所：図表 4-4 に同じ

図表 4-6 黄河流域の分区分・用途別に見た地下水の取水量と耗水量（2000年）

(億 m³)

流域分区分	項目	合計	農業	工業	城鎮生活	農村人畜
蘭州以上	取水量	5.36	0.94	2.79	0.99	0.64
	耗水量	2.34	0.79	0.67	0.24	0.64
蘭州～頭道拐	取水量	26.5	16.66	5.67	2.47	1.7
	耗水量	19.14	14.59	1.95	0.9	1.7
頭道拐～龍門	取水量	4.04	2.2	0.96	0.29	0.59
	耗水量	3.26	1.93	0.6	0.14	0.59
龍門～三門峽	取水量	55.67	30.49	14.58	5.65	4.95
	耗水量	39.74	25.61	6.79	2.39	4.95
三門峽～花園口	取水量	15.56	7.58	4.8	1.63	1.55
	耗水量	9.43	6.22	1.16	0.5	1.55
花園口～利津	取水量	25.24	16.54	5.56	0.77	2.37
	耗水量	17.85	13.56	1.75	0.27	2.27
利津以下	取水量	0	0	0	0	0
	耗水量	0	0	0	0	0
黄河内流区	取水量	2.21	1.77	0.29	0.03	0.12
	耗水量	1.81	1.45	0.22	0.02	0.12
合計	取水量	134.58	76.18	34.65	11.83	11.92
	耗水量	93.57	64.15	13.14	4.46	11.82

出所：図表 4-4 に同じ

4.5 水資源需給の支配因子

4.5.1 社会経済フレーム

降雨量が圧倒的に少ない中国北部では、南水北調のような導水プロジェクトを実施する以外には大幅に供給量を増やすことは不可能である。流域内で可能なのは、上流での節水によって下流での供給量を増やすこと、ダムに貯水することによって渇水期に備えることなどである。したがって、他の流域からの導水プロジェクトを考えない場合、需給分析の眼目は圧倒的に需要サイドの分析に置かれる。

水資源需要を決定する因子はさまざまであり、因子同士が相互に関連しあっている。これらを正確に分析するには因子同士の相互フィードバックを入れた体系的なモデル構築が必要である。以下では、これらの要因のうち、統計データ等によってマクロ的に分析できる項目を中心に考察を行う。次に、これらの考察に基づき、将来を決定する諸因子について一定のシナリオを設定して、水需給の将来見通しを行う。農業用水、工業用水、生活用水の用途ごとに、データが得られる限り小さな行政単位、すなわち、流域に属する計 306 の市県単位で推計し、それを省および流域全体で集計する。

将来見通しの期間については、多くの既存研究において 2030 年あるいは 2050 年までという長期的な時間フレームを取っている。これは、水資源需給が経済成長に及ぼす影響はこのように長期の将来において発現すると予想されるからである。このため、我々の分析においても、2050 年までの時間フレームを採用する。

ここで、水資源需要の将来を大きく決定するマクロ因子は以下の 2 つである。

- 経済成長 : 国全体および地域別の GDP、国民一人当たり GDP
- 人口 : 国全体および地域別の人口、都市人口と農村人口、都市の非農業人口と農業人口

中国の将来の経済成長、人口増加については、多くの研究が行われているが、どれも決定的とは言えない。特に、地域別の経済、人口見通しは非常に難しいテーマである。これは、現在、中国政府が重点を置いている西部開発の成果や、国際経済条件の変化に密接に関係した問題であり、簡単に解答が出る問題ではない。このため、我々の当面の作業のためには、他の研究報告書等を参考に、一般的に妥当と考えられる将来シナリオを設定する。

4.5.2 農業用水需要量の決定因子

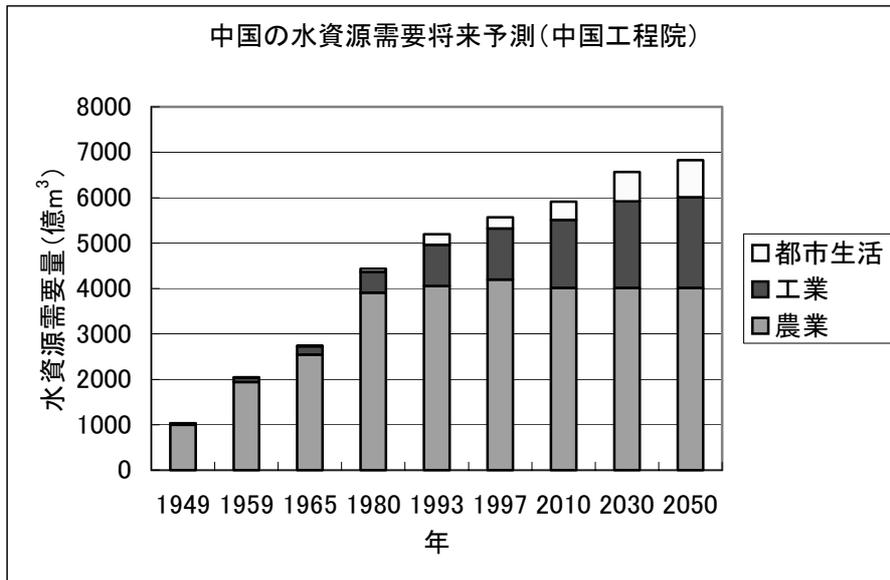
現在、水需要の 70%以上を占めているのは農業用水である。今後、水資源量は一定、あるいは微増という制約条件下で経済成長を持続するためには、工業用水、都市生活用水に水を優先配分せざるを得ない。このため、中国工程院や世界銀行の予測では、農業用水は横ばいあるいは微減となっている。

図表 4-7 は、中国工程院が示した見通しである。これは中国全土の見通しなので水資源需要量は増大の一途をたどっているが、黄河流域の場合には利用可能な水資源の総量はほぼ一定であるから、工業用水および都市生活用水が増大した分だけ農業用水は圧迫を受ける。また、図表 4-8 は、中国の食糧需給シナリオである。

耕地面積もほとんど増えず、灌漑用水も増えないという制約条件下で、増大する食糧需要、特に、家畜飼料用も含めた穀物需要に如何に対応するかという解答を見つけなければならない。高い農業生産性を達成するために必要な技術、たとえば節水型農業をどのように開発、普及させるかの方が課題である。

図表 4-9 は、耕地の変化、単収の増大などと水資源需給の相互関係を示す。

図表 4-7 中国の水資源需要将来予測結果（中国工程院）



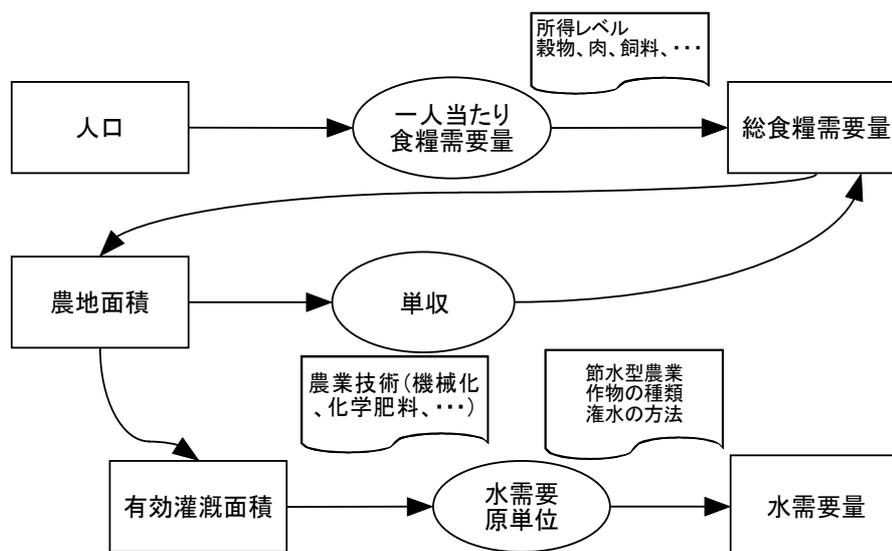
出所：『中国工程院報告書』「中国水資源現状評価和供需發展趨勢分析」

図表 4-8 食糧需給の将来シナリオ

	1997年 (実績)	2010年 (予測)	2030年 (予測)
人口 (億人)	12.36	13.9~14.2	15.1~16.1
1人当たり穀物需要量 (kg/人)	385	415	450
1人当たり穀物摂取量 (kg/人)	235	193	140
穀物総需要量 (億トン)	4.65	5.77~5.89	6.80~7.25
飼料用穀物比率 (%)	27	38	50

出所：『中国工程院報告書』「中国水資源現状評価和供需發展趨勢分析」

図表 4-9 農業用水需要予測の関連因子図



出所：名古屋大学井村研究室作成

農業用水量は、

$$\text{農業用水量} = \text{灌漑定数} \times \text{有効灌漑面積} \quad \dots \dots (3)$$

で計算される。すなわち、農業用水はすべて灌漑用水として推計するので、これ以外の自然降雨(天水)による分は農業用水としては計上されていない。具体的な計算においては、『中国分県農村経済統計概要』(過去および最新年度)などの統計書から、黄河流域に含まれる県および市の有効灌漑面積のデータを得て、その値に『中国水資源利用』から得られた黄河流域平均の有効灌漑面積当たりの灌漑用水量(「灌漑定数」)を乗じる。

この結果、農業用水量は、将来の有効灌漑面積と灌漑定数をどこまで減少させ得るかによって決まる。現在、中国の灌漑定数は、地域によって大きな差がある。これは、流域による水資源量を反映している。図表 4-10 は、中国工程院が設定したシナリオである。ただし、この表では「引黄地区」(黄河流域=黄河の集水域には属さないが、黄河から引水している地区)は含めていない。黄河流域の灌漑面積を扱うときには、その扱いに注意が必要である。1990年のデータでは、流域内 6,620 万畝(59%)に対して引黄地区が 4,605 万畝(41%)であった。黄河下流では、流域は細い带状でその面積は小さいが、実はその外部の広大な面積の農業が黄河の水に依存しているのである。

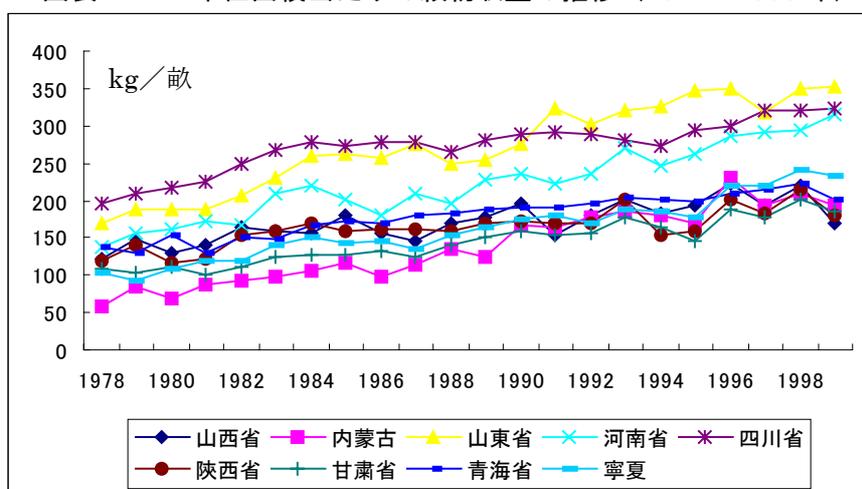
図表 4-10 黄河流域内の灌漑面積と灌漑定数に関する将来シナリオ

	単位	1997年	2000年	2010年	2030年	2050年
灌漑定数(原単位)	m ³ /畝	436	412	401	379	365
灌漑面積	万畝	7,180	7,339	8,040	8,530	8,630
灌漑用水	億トン	313	302.35	322	323	315

出所：『中国工程院報告書』「中国水資源現状評価和供需發展趨勢分析」

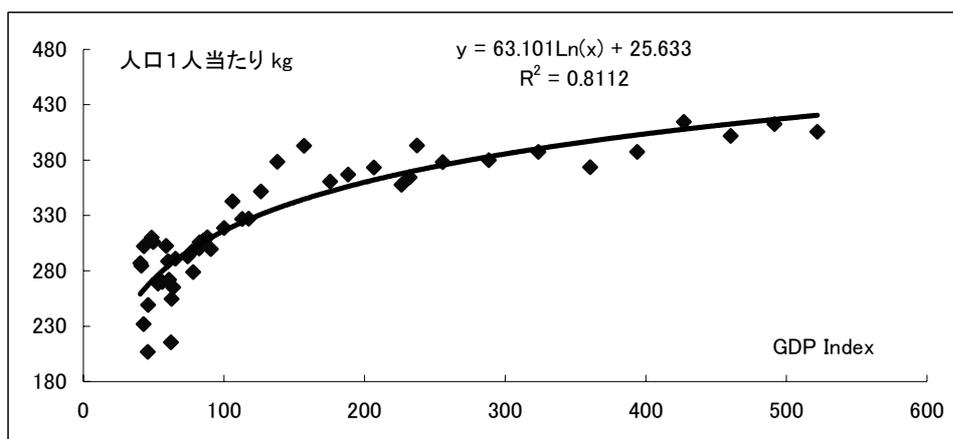
以上では、有効灌漑面積当たり用水原単位をベースに議論したが、食糧需給との関係では作物収量当たり原単位が重要な意味を持つ。図表 4-11 は、1978-1998 年の 20 年間における単位耕地面積当たりの穀物収量（単収）である。この図が示すように、各省で単収は 2~3 倍に増大している。したがって、作物収量当たり用水原単位は大幅に減っている。他方、図表 4-12 に示すように、一人当たり GDP の増大とともに、一人当たり食料（穀物）需要も増大している。今後、経済成長と人口増加が持続するとすれば、食料需要は増大傾向が続くため、作物収量当たり用水原単位をさらに減少させ続けられない限り、食糧自給が難しくなる。

図表 4-11 単位面積当たりの穀物収量の推移（1978-1998 年）



出所：『中国統計年鑑各年版』から作成

図表 4-12 黄河流域における経済成長と一人当たり穀物需要量の関係



注：GDPIndex は 1978 年の一人当たり GDP=100 とした値である。

出所：中国統計年鑑各年版等から作成

4.5.3 工業用水

工業用水使用量は、その産業の技術水準に左右される。また、地域によって、水資源需給の厳しさ、水の価格などが異なるため、節水型技術の導入状況には差がある。さらに、同じ産業でも、地域によって、あるいは個々の企業によって、技術には差がある。図表 4-13 は、各省のデータを基に、一人当たり GDP で見た経済発展レベルと工業用水使用原単位（ $\text{m}^3/\text{万元}$ ）の関係を見たものである。全体的に、天津、北京などの華北沿海部の工業用水原単位は低い。一般に、経済発展とともに技術進歩があり、工業用水原単位は低下すると予想されるが、このグラフだけからは明確な傾向は読み取れない。地域ごとに、どのような産業が立地しているか（産業構造）、水資源の不足がどれくらい切迫しているか、節水を促すためにどのような政策が採用されているかを分析する必要がある。そのためには、地域ごとの産業立地、技術と水消費実態に関するデータが必要である。

工業用水についてのもう 1 つの課題は、一度使用した用水の再利用の実態把握である。ある地域で水が不足しているとすれば、真っ先に課題となるのは、その地域内での経済活動レベルを落とさずに水消費を削減する努力である。上流での対策努力に期待してみても、早急な効果は期待できないからである。そのためには、同じ生産に対して必要な水の量、すなわち原単位を削減し、外部から系内に投入する正味の水資源量を減らすことが必要である。ここで、無駄な消費を減らすこと、一度系内に投入した水を系外に出さずに、循環・再生利用することが課題となる。

中国環境年鑑には、工業部門 20 業種の工業用水総量のデータがあり、

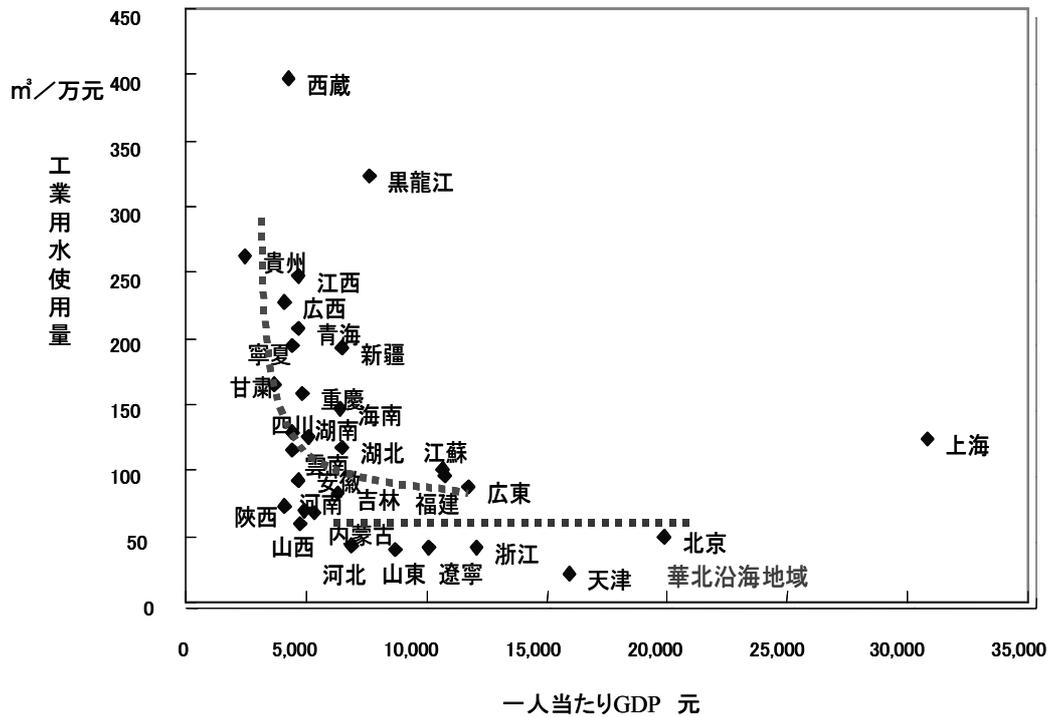
$$\text{工業用水総量} = \text{新鮮水量} + \text{重複用水量} \quad \dots \quad (4)$$

に区分されている。天津や北京では、下水道で処理した汚水を中水として積極的に利用している。

図表 4-14 に、いくつかの業種および地域における新鮮水量と重複用水量の値を示す。一般に北部の方が、重複利用の比率が高い。また、図表 4-15 に、中国工程院報告書における工業用水原単位と工業用水需要の将来シナリオを示す。図表 4-16 は、工業用水の再利用率（1993 年）と、工業生産に対する工業用水量の弾性係数（1980-1993 年）である。データは少し古いが、北部三河流域の方の再利用率が高いこと、郷鎮企業の再利用率が低いこと、工業用水の弾性係数が海河流域で 0.18（全国平均は 0.36）と小さいことが示されている。ここで、水の弾性係数をエネルギーのそれと比較してみるのには興味深い。中国におけるエネルギー消費の対 GDP 弾性係数は 0.6 前後である。これに比べて、工業用水弾性係数はさらに小さい。つまり、生産は増大させながら水需要を抑制する可能性はエネルギーの場合よりも大きいことを意味する。それは、水という資源が再利用可能な資源であることを反映している。

図 4-17 に工業用水需要予測の関連因子図を示す。

図表 4-13 経済発展レベルと工業用水使用原単位の関係（1999年、省の比較）



出所：『中国水資源公報 1999』、『中国統計年鑑 2000』から作成

図表 4-14 業種別、地域別工業用水使用量（2000年）

	A 工業用水 使用量 (万 m ³)	内 訳		重複使用率 C/A (%)	
		B 新鮮水量 (万 m ³)	C 重複使用量 (万 m ³)		
全 国	21,090,023	6,653,435	14,436,602	68.5	
業種別 (全国)	紡績業	232,039	134,576	97,463	42.0
	製紙・紙製品	530,927	343,438	187,489	35.3
	石油加工・コークス	1,164,800	232,464	932,336	80.0
	化学工業原料・化学製品	2,780,779	505,501	2,275,278	81.8
	鉄鋼・圧延	2,370,659	400,967	1,969,692	83.1
地域別 (省・市)	北京	511,820	60,362	451,459	88.2
	天津	423,892	36,035	387,857	91.5
	山東	1,609,495	167,131	1,442,364	89.6
	河北	1,296,963	125,871	1,171,092	90.3
	山西	991,053	73,371	917,682	92.6
	上海	1,274,190	682,134	592,055	46.5
	重慶	471,391	245,440	225,951	47.9
	四川	560,564	198,366	362,198	64.6
	江蘇	1,751,948	884,606	867,342	49.5
	浙江	1,046,772	692,285	354,487	33.9
広東	1,401,351	949,705	451,645	32.2	

出所：『中国環境年鑑 2001』

図表 4-15 工業用水原単位の将来シナリオ

		1997年	2000年	2010年	2030年	2050年
原単位	m ³ /万元	93.1	75	46.0	17.5	8.0
工業生産	兆元	0.64	0.75	1.86	6.80	15.10
工業用水	億トン	59	56.49	86	119	121

出所：『中国工程院報告書』「中国水資源現状評価和供需發展趨勢分析」

図表 4-16 工業用水の再利用率（1993年）と工業用水弾性係数（1980-1993年）

	工業用水重複利用率 （火力発電） 1993年	工業用水重複利 用率（一般工業） 1993年	工業用水重複利 用率（郷鎮工業） 1993年	工業用水弾性係 数 1980-1993年
全国	61.5	16.2	19.1	0.36
松遼河	76.8	67.3	14.8	0.29
海河	92.1	70.1	27.3	0.18
淮河	80.1	30.2	15.1	0.28
黄河	87.1	50.5	37.2	0.38
長江	18.6	37.2	18.8	0.36
珠江	12.5	18.2	7.4	0.42
東南諸河	89.7	41.3	9.6	0.39
西南諸河	40.0	30.1	29.2	0.67
内陸河	70.5	38.0	21.0	0.38

出所：『21世紀中国水供求』中国水利水電出版社

区分されている。同じ県でも独立の県と、市の一部としての県があるので注意が必要である。一口に都市（城市）と言っても、市街地が形成されているのはその一部であり、上水道による供水が行われているのは、ほぼそこだけと言ってよい。都市人口のうち、こうした市街地に住むのは全体の限られた割合であり、その多くは都市の非農業人口である。中心市街地の周辺の郊外部に行くと農業人口割合が高くなるが、人口がある程度集中していれば上水道による供水が行われている。近代的な都市上水道による供水の対象になっているのは、都市の非農業人口（主に中心市街地に居住）と農業人口の一部（中心市街地の近郊に居住）である。

『中国 2001 年城市建设統計公報』によれば、2001 年末において、全国の城市人口は 3 億 5,747 万人、その中の非農業人口は 2 億 1,543 万人、城市用水人口 2 億 5,854 万人で、城市用水普及率は 72.33%となっている。また、1 人 1 日当たりの生活用水量は 216 リットルである。これは、2000 年の値（220 リットル）より減少しており、全国では 38 億 m³の減少になった。

上の用水普及率の値（2001 年）は図表 4-21 の上水道普及率の値（2000 年）に比べてはるかに小さい。これは、2001 年から城市用水普及率の計算式を変えたからである。すなわち、2000 年までは、

$$\text{城市用水普及率（旧）} = \text{城市非農業用水人口} / \text{城市非農業人口} * 100[\%] \dots (5)$$

としていたのを、2001 年からは

$$\text{城市用水普及率（新）} = \text{城市用水人口} / \text{城市人口} * 100[\%] \dots (6)$$

に変更したからである。用水普及率（旧）では、市街地の外の農業人口を除外しているから、既に 96.7%という高い値になっている。しかし、農業人口を入れた普及率（新）では 72.3%でしかない。しかも、これは城市だけの値であるから、全国の総人口で見た普及率は実はまだ 20%程度に過ぎない。

近代的な上水道による供水量を「都市生活用水」と定義すれば、その予測には 2 通りの方法が考えられる。

【方法 1】

都市生活用水

$$= \text{原単位} * (\text{城市非農業人口} * \text{用水普及率 A} + \text{城市農業人口} * \text{用水普及率 B}) \dots (7)$$

【方法 2】

$$\text{都市生活用水} = \text{原単位} * \text{城市人口} * \text{用水普及率 C} \dots (8)$$

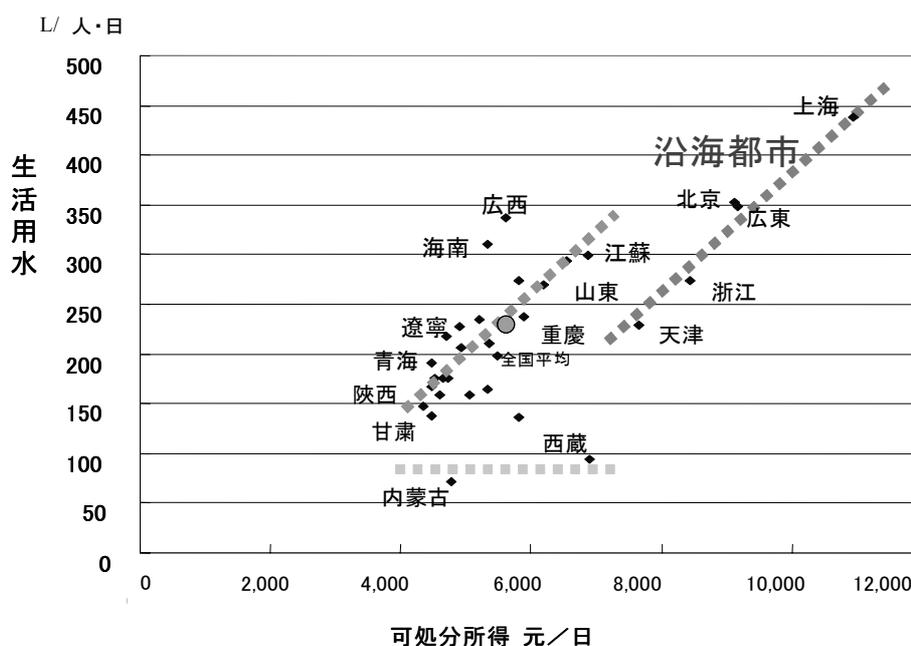
ここで、原単位は住民 1 人当たりの水消費量である。用水普及率 A は都市の非農業人口に対する用水普及率（水道普及率）で、城市用水普及率（旧）に他ならない。この値は上述の通り、全国では既に 96.7%に達しており、早晚ほぼ 100%に達すると見込まれる。用水普及率 B は都市の農業人口に対する用水普及率で、上記の諸データから、現在、全国では 35.4%と推計される。用水普及率 C は城市用水普及率（新）に他ならず、現在、全国では 72.3%である。方法 1 では、用水普及率 A の値がほぼ 100%と自明であるから、城市における総人口および非農業人口対農業人口の比率、用水普及率 B の推計が問題となる。方法 2 では、もっぱら、城市の総人口とそれに対する用水普及率 C に焦点をあてる。

本報告書においては、方法 1 で推計を試みる。この分析では、全人口に対する都市人口

比率（都市化率）と、都市人口に占める非農業人口および農業人口の割合が必要であるが、後者は実は都市の工業生産における第1次、第2次、第3次産業のシェアと密接に関連しているため、このことを考慮したモデル推計が必要となる。

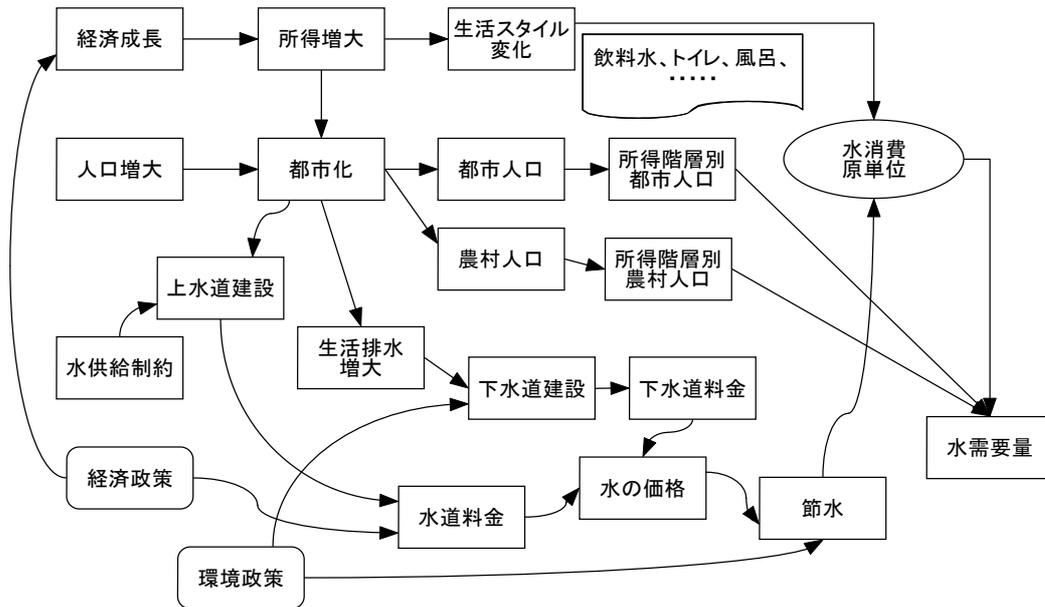
都市用水量の将来は、以下の因子に左右される：①所得上昇にともなう1人当たり用水原単位の増大、②節水意識の高まりや節水型機器の普及による用水原単位の減少、③城市用水人口の増大（人口増加と用水普及率の上昇）、④その他、たとえば1世帯人数の変化（核家族化など）。ここで、①と②の因子がどう相乗作用するかは予想が難しい。日本をはじめとする各国の経験では、1人当たり用水原単位は所得とともに増大した後にはほぼ安定化し、次には上記②の因子によってやや低下する。中国の場合、早期に節水運動に取り組んでいるため、早くに原単位上昇が抑制される可能性がある。一方、まだ水道が無い農民が多数いるため、上記③の要素による増大が大きい。農村部への用水ネットワークの普及については、まず、市街地に隣接する地区、人数の多い集落から順になるであろう。これらの地区や集落の住民は、相対的に所得レベルが向上してきた人々ということができよう。

図表 4-18 可処分所得と生活用水使用量の関係



出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 4-19 都市生活用水需要予測の関連因子図



出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 4-20 生活用水原単位の変化と生活用水需要の予測

	1997年	2010年	2030年	2050年
都市の原単位 (リットル/日)	130	145	160	175
農村の原単位 (リットル/人・日)	54	65	80	100
総人口 (万人)	10,530	11,980	13,660	14,160
都市化率 (%)	30.5	39.9	50.9	58.2
都市人口 (万人)	3,210	4,780	6,850	8,240
農村人口 (万人)	7,320	7,200	6,810	5,920
生活用水 (億 m ³)	30	42	60	74
農村生活用水 (億 m ³)	14	17	20	22
都市生活用水 (億 m ³)	15	25	41	53

注：ここでの「都市生活用水」は「城市」における水使用量を示す。

出所：『中国工程院報告書』「中国水資源現状評価和供需発展趨勢分析」

図表 4-21 中国の都市化と上水道・下水道の整備

項 目	1985 年	1990 年	1995 年	1999 年	2000 年
都市（城鎮）人口の比率（％）	23.71	26.41	29.04	30.89	36.22
建成区面積（km ² ）	9,386	12,856	19,264	21,525	22,439
都市（城市）人口密度（人／km ² ）	262	279	322	462	441
上水道年間供水量（億 m ³ ）	128.0	382.3	496.6	467.5	469.0
生活用水量（億 m ³ ）	51.9	100.1	158.1	189.6	200.0
一人当たり生活用水使用量（m ³ ）	55.1	67.9	71.3	94.1	95.5
上水道普及率（％）	81.0	89.2	93.0	96.3	96.7
下水道管延長距離（km）	31,556	57,787	110,293	134,486	141,758
人口 1 万人当たり下水道管距離（km）	2.7	3.9	6.0	6.7	6.8

出所：『中国統計年鑑 2001』

4.5.5 他水系からの導水

1 つの流域内で利用可能な水資源は降水量等の自然条件によって決定されるため、いくら節水努力をしても限界がある。水不足を解消する方策は水の豊富な他水系からの導水である。同じ黄河流域内でも、水の豊富さには地域的な不均衡があるから、万家寨プロジェクトでは、水の豊富な黄河本流の上流部の水をトンネル水路によって山西省北部に導水している。さらに、陝西省の渭河流域では、秦嶺山脈を越えた南の長江支流の水系からの導水が計画されている。これらの導水プロジェクトが実施されると、それまでの水不足を一挙に解決することも可能であるが、その反面、節水に向けた徹底的な努力を怠らせる結果になることも懸念される。

同様なことは、都市の生活用水についても言える。たとえば、西安市では、良質の水源地に恵まれず、渇水時には頻繁に給水制限に遭っていた。1996 年、上水の供給量が増加した後、こうした給水制限は発生しなくなった。しかし、その結果、市民一人当たりの水消費量は増大することになった。これは市民生活の向上にとっては好ましいことであるが、供水容量を増やして水不足を緩和すると、市民一人ひとりの節水意識が減退し、水使用量は増大してしまいかねないという皮肉な結果に陥りかねないことを示唆している。

4.5.6 水価格

水も一般の財と同じ 1 つの商品である。その需給を決定する重要な因子は価格である。しかし、計画経済体制下において、生活に無くてはならない水や電力の料金は、供給のために実際に必要なコストよりはかなり低いレベルで価格が設定されてきた。図表 4-22 に、直轄市および黄河中上流に位置するいくつかの都市における水価格の例を示す。農業用水については、灌漑区ごとに料金を払っているが、その料金は一般に 0.1 元／m³ というような低いレベルにある。

適正な水価格の設定は、水の供給にかかる施設の建設・運転・維持管理に必要なコスト

を利用者からの料金収入で回収するため（“full cost pricing”）と、価格が低すぎることに起因する過剰消費を抑制するためという2つの目的のために重要である。更に利用者（特に農民）の負担能力を踏まえることが「適正な水価格」設定の基準となろう。しかし、水価格の上昇が中国の都市住民の水消費に対してどれだけの抑制効果を持つかについては、水需要の価格弾性値を推計するための時系列データがまだ蓄積されておらず、分析が困難な状況にある。

図表 4-22 中国都市における水価格

(1) 直轄市の水価格（元/m³、2001年3月15日）

城市	工業用水	商業貿易	機関用水	賓館 (ホテル)	特殊工業	建築用水	生活用水
北京	2.4	2.4	-	2.8-3.8	5-30	2.80	1.6
上海	1.1	1.1	-	-	-	-	0.88
天津	2.4	2.6	2.2	3.5	-	-	1.8
重慶	1.93	2.68	-	2.68	-	2.28	1.67

出所：中国水務ホームページ

(2) 西北地方都市（元/m³、2001年3月15日）

城市	生活用水	工業用水	建築用水	賓館 (ホテル)	特殊工業	機関用水	商業貿易
宝鸡	1.1	1.5	-	-	2.3	-	2
咸陽	1	1.34	-	-	2.42	-	1.56
銅川	1.98	2.5	-	-	4.1	2.9	3.35
渭南	1	1.28	1.44	-	-	1.06	1.44
漢中	1.2	1.51	-	-	2.46	1.46	1.86
延安	1.7	2.25	-	-	-	2.10	2.25
榆林	1.3	1.6	-	-	2.7	1.51	1.7
安康	0.90	1.1	-	-	-	-	1.10
韓城	1.72	1.79	-	2.92	-	1.62	1.95
商州	1.08	1.26	-	-	-	1.17	1.26
華陽	1.15	1.6	-	-	2.9	-	1.60
興平	1.12	1.57	1.57	-	-	1.37	1.57

注：-はデータ無し。

出所：中国水務ホームページ

4.5.7 需要と供給のバランス

水資源はその地域に局在した資源であり、長距離の輸送は容易でない。しかし、数十 km という距離なら、水路によって比較的簡単に導水できる。都市に水道を敷設する場合には、

その近くに適当な水源があるかどうかは鍵になる。したがって、水の需給バランスには、需要地である都市や工場の場所と、水源になる河川、井戸や地下水源の場所の関係を詳しく調査する必要がある。このためには、市・県ごとのミクロな状況を詳しく調べなければならないが、この報告書は、流域全体のマクロ的ないしはセミマクロ的な需給バランスを考察することを目的としているので、こうしたミクロな水源と需要地の関係については分析対象としていない。

実際の需給バランスは、自然の天候に大きく左右される。ここで、渇水の程度を表わす指標として使用されるのが「保証率」である。極端に渇水の年を想定すると、利用できる水の量は非常に少なく、逆に言えばそれだけの水の量は毎年ほぼ確実に利用できることを意味する。たとえば、保証率 95% で供給可能な水量は、深刻な渇水状態でも供給可能な水量を意味する。これを P 95、あるいは P = 95% と記す。逆に、降雨量の多い年の水量は増大し、渇水は頻繁には発生しないから保証率は低下する。すなわち、P 75、P 50、P 25 となるにつれて、渇水のレベルは減じる(降雨量は多くなり、利用可能な水量も多くなる)。P 50 は長期の平均的水量である。P 25 は比較的降雨の多い湿潤年である。

図表 4-23 は、黄河流域における渇水レベルに応じた農業灌漑用水の不足量である。平均的な年でも慢性的に 70 億 m³ あまりが不足しており、大渇水年には 100 億 m³ 以上の不足になる。

図表 4-23 渇水レベルによる灌漑用水不足量

渇水レベル (保証率)	状態	灌漑用水不足量 (億 m ³)
P 25	湿潤年	66.5
P 50	正常・平均年	74.1
P 75	渇水年	95.0
P 95	大渇水年	110.2

出所：『華北水資源アジェンダ（第 1 巻）』

第5章 黄河流域の水資源需要予測

5.1 分析方法

5.1.1 対象地域の定義

水需給分析における1つの技術的問題は、河川流域に関する自然地理データと、行政単位で整備されている社会経済活動に関する統計データとのオーバーレイ解析である。中国の場合、広域的に利用できる社会経済データの地理区分の最小単位は「県」または「市」である。このため、集水域の地理的範囲を示した図と県市の行政区界の図とを重ね合わせて黄河流域の対象範囲を定める。当然のことながら、両者にはズレがある。また、1つの県市が2つ以上の河川流域にまたがる場合がある。本解析では、ある県市の一部が黄河の本流、支流で形成される流域のどこかを含めば、原則としてその県市は黄河流域に属するものとして扱う。

上記のような行政区界によって定義した流域の範囲は、自然地理境界で定義したものより大きくなってしまう。この両者の面積を比較したのが図表 5-1 である。また、この領域に含まれる行政区界を図表 5-2 に示す。全体で 306 県市（7つの省都を含む 55 の市および 251 の県）が含まれる。省の中のごく狭い一部しか含まれない四川省のような例もあれば、省の大部分が含まれる陝西省や甘粛省のような場合もある。

なお、花園口より下流の黄河は天井川になっており、ここに流入する河川はない。このため、下流の流域は細い帯状で定義される。しかし、こうして定義された流域の外にも、灌漑用水を黄河に依存する広大な地域（引黄灌漑区）があることは注意を要する。

図表 5-1 黄河流域の面積

	自然地理境界 (万 km ²)	県市行政区界 (万 km ²)	市県の数
青海	15.10	13.28	23
四川	1.60	2.88	3
甘肅	14.40	14.78	50
寧夏	5.18	5.05	20
内蒙古	15.20	15.77	25
山西	9.60	9.47	68
陝西	13.33	13.61	69
河南	3.50	3.71	29
山東	1.30	2.57	19
合計	79.21	81.11	306

出所：中国科学院地理科学研究所「1:100 万 GIS dataset」より作成

図表 5-2 黄河流域の地理的範囲：縣市行政区界



出所：図表 5-1 に同じ

5.1.2 人口・経済・産業構造に関するマクロフレーム

中国の将来の人口と経済成長についてはさまざまな研究があるが、2050年までというような長期的な予測を正確に行うことは不可能である。したがって、多くの研究では、過去のトレンドを参考にしながら、人口・経済のマクロフレームを先に仮定し、高成長ケース、低成長ケースといったシナリオを設定している。既存研究において採用されているこうしたマクロフレームの例を図表 5-3 に記す。

図表 5-3 中国の人口・経済に関するマクロフレームの設定例

(1) 人口

出典	人口増加率 (%)			人口 (億人)				
	2000-2010	2010-2030	2030-2050	2000	2010	2030	2050	
国連人口統計	0.72	0.43	-0.06	12.78	13.73	14.96	14.78	
国家統計生育委員会	0.81	0.49%	0.03	12.73	13.8	15.21	15.3	
中国人口情報研究中心	0.82	0.51	-0.01	12.69	13.77	15.25	15.22	
米国統計局 (U.S Bureau of the Census)	0.74	0.44	-0.04	12.62	13.59	14.83	14.7	
中国可持続発展 水資源戦略研究 報告書, 第4巻	低成長ケース	0.88	0.11	NA	12.73	13.9	14.2	NA
	高成長ケース	1.72	0.32	NA	12.73	15.1	16.1	NA

(2) 経済成長

出典	成長率 (%)			GDP(兆元)			
	2000-2010	2010-2030	2030-2050	2000	2010	2030	2050
中国国家統計局核算司	7.5	6.0	4.0	10.8	22.3	71.4	156.3
中国宏規経済報告, VOL.8, 2001	8.1	5.9	4.6	NA	19.8	62.2	153.0
中国可持続発展水資源戦略研究報告書, 第4巻	7.1	5.4	3.1	NA	18.7	53.8	100.0
国家計画委員会 (第十次五カ年計画)	7.2	NA	NA	NA	NA	NA	NA

注：1) 国連人口統計、国家統計生育委員会、中国人口情報研究中心のデータは <http://www.cpirc.org.cn> より入手。米国統計局、中国国家統計局核算司、中国宏規経済報告のデータはそれぞれ <http://www.bized.ac.uk/dataserv/idbsum.htm>, <http://www.stats.gov.cn>, <http://www.macrochina.com.cn> より入手。

2) NA はデータ無し。

出所：図表中に記載

この図表 5-3 に示したのは、中国の国全体の予測である。この報告書では、黄河流域を対象にするため、その人口、経済の成長率は全国のものとは異なる。また、流域に含まれる省によっても差があつて当然である。さらに、同じ省内でも、個々の市や県ごとの地域別事情によっても状況は異なる。こうした地域ごとのミクロな条件を個別に考慮することは非常に難しい上に、長期的には現実と乖離する恐れが強い。このため、この報告書では、既存研究を参考に、以下のような簡単なシナリオを設定した。すなわち、2030年までについては、中国工程院の『中国可持続発展水資源戦略研究報告書第4巻』で示されている全国および省別の人口シナリオ（高成長ケースと低成長ケースの平均値）をそのまま採用した。次に、2030～2050年の期間については、まず2010～2030年の各省の成長率をそのまま用いて2050年の仮の省別人口（A）を求めた。しかし、2030～2050年の実際の人口成長率は2010～2030年の人口成長率より低下することが予想されるので、次式によって下方修正を行った。

$$2050\text{年の省別人口} = A \times \frac{B}{\sum A} \quad \dots (9)$$

ここで、Bは図表 5-3 に示した全国人口増加率の値（-0.01%）を使用して得られる 2050 年の全国人口である。

こうして得られた全国および黄河流域の省別人口とその成長率が図表 5-4 (1) および (2) である。黄河流域の各市県別の人口予測に関しては、まず 1990～2000 年の市県別成長率で推計を行い、その総和が上記の省別人口と一致するように上記と同様の補正を行った。

図表 5-4 人口に関する将来シナリオ

(1) 黄河流域の人口の推計結果 (万人)

	1990年(実績)	2000年(実績)	2010年	2030年	2050年
全 国	112,956	126,583	140,500	156,000	155,688
黄河流域	9,950	11,579	12,427	13,921	14,709
山西	1,713	2,012	2,167	2,408	2,382
内蒙古	678	762	836	946	954
山東	1,407	1,552	1,679	1,879	1,873
河南	1,467	1,702	1,816	2,021	2,003
四川	13	16	16	18	20
陝西	2,341	2,710	2,895	3,252	3,654
甘肅	1,539	1,817	1,967	2,208	2,480
青海	339	454	467	506	548
宁夏	453	554	584	681	795

(2) 黄河流域の人口増加率の推計結果 (年率%)

	1990-2000年(実績)	2001-2010年	2011-2030年	2031-2050年
全 国	1.15%	1.05%	0.52%	-0.01%
黄河流域	1.53%	0.71%	0.57%	0.28%
山西	1.63%	0.74%	0.53%	-0.05%
内蒙古	1.18%	0.93%	0.62%	0.04%
山東	0.98%	0.79%	0.57%	-0.02%
河南	1.50%	0.65%	0.54%	-0.04%
四川	1.79%	0.07%	0.60%	0.60%
陝西	1.47%	0.66%	0.58%	0.58%
甘肅	1.67%	0.80%	0.58%	0.58%
青海	2.98%	0.28%	0.40%	0.40%
宁夏	2.03%	0.52%	0.77%	0.77%

注：2000～2030年の成長率は中国工程院の『中国可持続発展水資源研究戦略報告書第4巻』の値（高成長と低成長の中間値）を採用。2030～2050年については本文中記載の方法で設定。
出所：名古屋大学井村研究室作成

以上は、非常に簡略化した設定であるので、今後は省間の人口移動なども考慮したより妥当なシナリオを検討する必要がある。

省別の人口と経済の将来シナリオについてはそれぞれ色々な可能性があり、組み合わせも様々に考えられる。いずれの場合にも、食糧生産、工業生産、一人当たり所得は増加し、特別の対策を講じない限り、農業用水、工業用水、生活用水の潜在的需要量は増加するものと予想される。そうしたさまざまなシナリオについて分析するための基礎として、本報告書では上で述べたような1つの標準的シナリオを設定して分析するものである。

なお、異なるシナリオによって、どの程度の差が生じるかについては、第4章で考察したような諸因子の相互フィードバック関係を緻密に分析する必要があり、そのためには各因子間の関係を特定化し、モデル化するためのデータ収集が必要である。ここでは、分析の第一歩として、①工業生産の増加に比例して工業用水は増加、②一人当たり所得の増加によって生活用水は増加、という単純なモデルで考察する。農業用水については、「節水型農業シナリオ」と「自然体シナリオ」の2つのシナリオを設定して考察する。

経済成長（GDP）についても、『中国可持続発展水資源戦略研究報告書第2巻』が示している全国および黄河流域のGDP成長率シナリオをそのまま採用した。黄河流域の省別GDP予測に関しては、まず1990～2000年の省別GDP成長率で推計を行い、人口推計の際と同様に、その結果の総和が上記の黄河流域全体のGDPと一致するように修正を行った。こうして得られた全国および黄河流域の省別GDPとその成長率が図表5-5である。黄河流域の各市県別の人口に関しては、付録2に示す方法で設定した。また、人口と経済成長（GDP）から得られる1人当たりGDPの値と成長率が図表5-6である。

図表 5-5 全国および黄河流域の GDP（億元）と GDP 成長率（％）の推計結果

	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	7,107	13,466	40,043	82,813	6.60	5.60	3.70
山西	1,024	1,775	4,444	8,067	5.66	4.69	3.03
内蒙古	700	1,250	3,284	6,153	5.97	4.95	3.19
山東	1,963	4,301	15,922	37,389	8.16	6.76	4.36
河南	813	1,599	4,941	10,302	7.00	5.80	3.74
四川	5	10	26	49	6.03	5.00	3.22
陝西	1,553	2,725	6,952	12,781	5.78	4.79	3.09
甘肅	634	1,106	2,794	5,105	5.72	4.74	3.06
青海	155	253	569	964	4.99	4.14	2.67
寧夏	260	448	1,110	2,002	5.60	4.64	2.99

出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 5-6 全国および黄河流域の 1 人当たり GDP (元) と
1 人当たり GDP 成長率 (%) の推計結果

	1 人当たり GDP (元)				1 人当たり 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	7,063	13,295	34,474	64,231	6.53%	4.88%	3.16%
黄河流域	6,121	10,837	28,764	56,302	5.88%	5.00%	3.41%
山西	5,007	8,192	18,454	33,866	5.05%	4.14%	3.08%
内蒙古	9,192	14,960	34,705	64,515	4.99%	4.30%	3.15%
山東	12,601	25,618	84,724	199,627	7.35%	6.16%	4.38%
河南	4,778	8,804	24,444	51,427	6.30%	5.24%	3.79%
四川	3,404	6,071	14,285	23,900	5.96%	4.37%	2.61%
陝西	5,592	9,412	21,378	34,983	5.34%	4.19%	2.49%
甘肅	3,480	5,622	12,653	20,588	4.91%	4.14%	2.46%
青海	4,064	5,413	11,244	17,575	2.91%	3.72%	2.26%
寧夏	4,732	7,668	16,291	25,191	4.94%	3.84%	2.20%

出所：名古屋大学井村研究室作成

以上によって、人口と GDP の省別マクロフレームを設定したが、工業用水量の推計のためには、工業生産額（あるいは、GDP に占める 2 次産業比率）が必要である。また、生活用水の推計のためには、都市人口および都市人口に占める非農業人口と農業人口の比率の値が必要であり、このためにも GDP に占める 1 次、2 次、3 次各産業の比率が必要である。これをオーソドックスに求めるには、労働力、資本等の生産要素についての産業ごとの生産関数を推計し、一般均衡分析等の経済モデルを構築する必要がある。しかし、省別にこれを行うことはそれ自体で大作業になる上に、得られる結果の信憑性評価も難しい。このため、ここでは、過去の時系列データを基にした簡単な回帰分析によって推計する。

産業構造（1 次・2 次・3 次産業比率）については、1952～2000 年における各省別の時系列データが利用できるため、さまざまな推計式をあてはめて検討した。その結果、1 次および 3 次産業比率と 1 人あたり GDP の関係については、次式によって比較的良好な一致を見た。

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

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

ここで、市県別の産業比率はそれぞれの市県が属する省の推計式に 2000 年の 1 人あたり GDP と産業比率を代入することにより係数 b を求め、また係数 a に関しては省別に一定とした。

一方、2次産業比率については、上と同じ式では良好な一致が得られなかったので、

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

によって求めた。

図表 5-7 に黄河流域の各省別の係数およびR²値を示す。その結果、黄河流域の各省別の産業比率は図表 5-8 のようになった。

図表 5-7 黄河流域各省の産業構造推計式の係数およびR²値

	1次			3次		
	A	b	R ² 値	a	b	R ² 値
山西	-0.4711	2.3283	0.8554	-0.177	2.2185	0.612
内蒙古	-0.2819	1.3277	0.4651	-0.2138	2.4193	0.6787
山東	-0.62368	1.7153	0.8438	-0.1964	2.5004	0.5767
河南	-0.2837	1.2423	0.6691	-0.1682	2.2694	0.522
四川	-0.3845	2.1061	0.9309	-0.2136	2.5024	0.8659
陝西	-0.4288	1.9906	0.8314	-0.2932	2.8987	0.7755
甘肅	-0.2868	0.8814	0.3404	-0.2342	2.5806	0.4894
青海	-0.5247	2.6991	0.711	-0.2425	2.4021	0.7124
寧夏	-0.5526	2.8696	0.5822	-0.2675	2.6316	0.7472

出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 5-8 黄河流域の産業比率の推計結果

(%)

	2000年			2010年			2030年			2050年		
	1次	2次	3次									
山西	12.1	49.4	38.5	9.9	49.5	40.6	6.8	48.8	44.3	5.0	47.8	47.2
内蒙古	15.9	50.2	33.9	14.0	49.6	36.4	10.8	48.2	41.0	8.6	46.9	44.5
山東	11.1	52.9	36.0	8.6	53.3	38.2	5.2	53.6	41.2	3.4	54.4	42.2
河南	14.5	53.1	32.4	12.0	53.6	34.4	8.0	54.4	37.6	5.2	55.8	39.0
四川	63.3	13.9	22.9	58.3	16.7	25.0	50.3	21.2	28.6	45.4	23.7	30.8
陝西	13.3	48.6	38.1	10.1	47.4	42.5	6.0	44.1	49.9	3.8	41.3	54.9
甘肅	16.9	45.7	37.4	15.3	44.8	39.9	12.7	42.9	44.4	11.1	41.7	47.2
青海	17.6	43.7	38.6	12.4	43.6	44.0	4.8	40.6	54.6	2.3	37.8	59.9
寧夏	17.5	47.3	35.2	14.5	47.0	38.6	10.6	45.2	44.2	8.8	43.4	47.8
黄河流域	13.6	50.2	36.2	10.8	50.3	38.8	7.0	50.1	43.0	4.7	50.4	44.9

出所：名古屋大学井村研究室作成

5.2 水資源供給量（降水量）および可能蒸発散量の推定

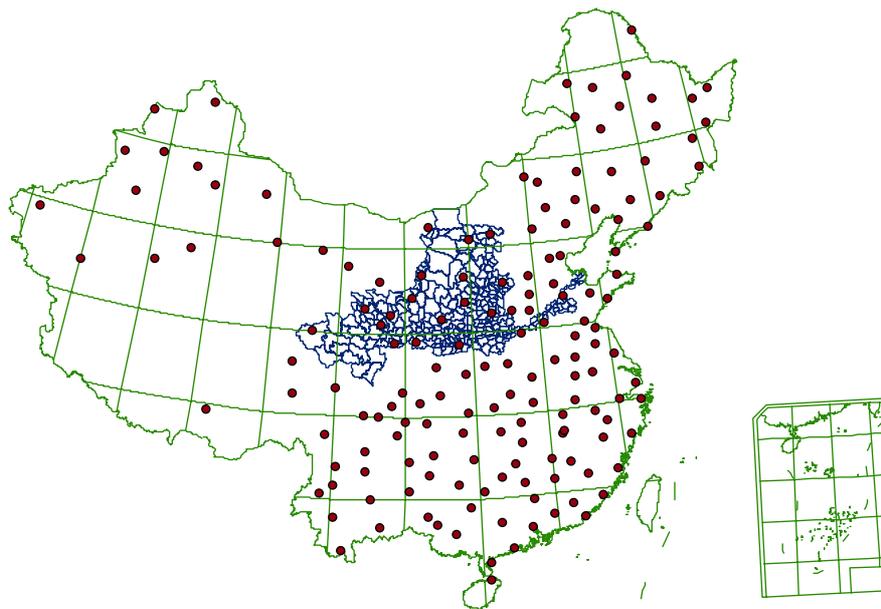
5.2.1 データソース

中国国家気象局の160の観測所における1951年から2000年（50年）までの月別降水量と気温のデータセットを利用した。それぞれの観測所における緯度と経度もそのデータセットから利用可能である。計算はGIS（地理情報システム）によって行う。

5.2.2 投影変換

各観測点の位置は、それぞれの緯度と経度によって地図に投影する。投影変換された160の観測所を図表5-9に示す。

図表 5-9 160の観測所（投影変換後）



出所：中国国家気象局データに基づき北京師範大学資源科学研究院作成

5.2.3 降水量

観測点ごとの月別降水量データ（点データ）をKriging補間法⁴によって20km×20kmのメッシュデータに変換した。各メッシュの降水量から黄河流域の総降水量を求めると3,067.76億m³となった。

⁴ 地形学や地質学などでよく用いられる方法で空間内挿入法⁴の一種。限られたデータから二次元の連続分布値を推計する方法。

5.2.4 気温の内挿

中国の月別平均気温を計算した。気温の補間方法は降水量の場合と同じである。

5.2.5 可能蒸発散量の計算

可能蒸発散量については、狭い地域についての観測結果はあるものの、広大な黄河流域全体についてのデータはない。可能蒸発散量の推計式に関する研究も数多く行われているが、黄河流域に精度よく当てはまる式はまだ得られていない。このため、ここでは、月別平均気温だけで推計するソーンスウェイト (Thornthwaite) 法を用いて計算する。以下、ソーンスウェイト法による可能蒸発散量の推計式を示す。

$$E_t = 1.6\left(\frac{10T}{I}\right)^a \dots\dots\dots(1)$$

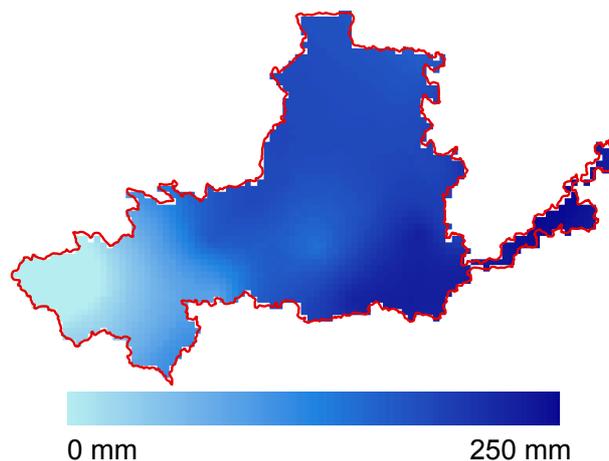
$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5}\right)^{1.514} \dots\dots\dots(2)$$

$$a = (492,390 + 17,920I - 77.1I^2 + 0.675I^3) \times 10^{-6} \dots\dots(3)$$

注： E_t ：cm/月、 I ：月平均気温（℃）、 T ：熱指数（1-12月の T の総和）

また、所定の補正係数によって緯度による昼の長さの補正を行う。この方法で得られた総可能蒸発散量は1,412.06億 m^3 である。計算結果⁵から、月別および年間可能蒸発散量を作成した。その結果を図表 5-10 に示す。

図表 5-10 年間可能蒸発散総量の推計結果



出所：名古屋大学井村研究室作成

ソーンスウェイト法は、丈の低い緑草で密に覆われた地表面から、水不足の起こらないように給水した場合に失われる蒸発散量を可能蒸発散量と定義したものである。これは、

⁵ 式 (2) において T_i の値が負の月は 0 として I を算出した。

アメリカ合衆国の実測値にあうよう経験的に定められたもので、中国の黄河流域に適合できるという保証はない。しかし、この方法で計算した値の大小は、その場所の持つ蒸発散ポテンシャルを大まかに把握する指標として意味を持つと考えられる。すなわち、この値が大きな場所ほど蒸発散によって失われる水の量が大きくなる可能性が大であるということと言える。しかし、実際の蒸発散量は、場所ごとの植生、気象条件によって大きく左右される。

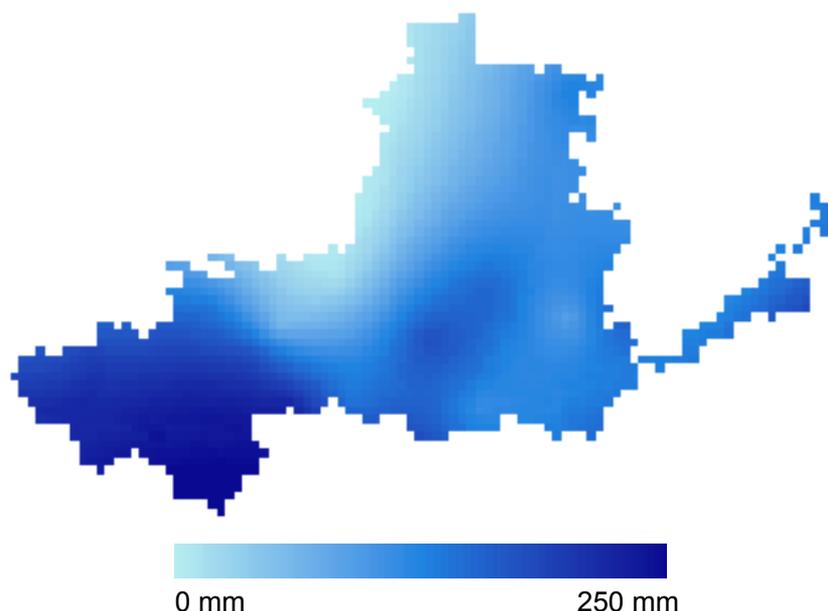
5.2.6 水資源量の計算

水資源量は次式で与えられる。

$$\text{水資源量} = (\text{降水量} - \text{補正係数} \times \text{可能蒸発散量}) \times \text{面積}$$

上記の方法で計算した水資源量は 1,656 億 m³ で、他の方法から得られる黄河流域における実際の水資源量(580 億 m³) よりもかなり大きい値となっている。この数値に適合させるには、補正係数=1.5 とせねばならない。ここで求めた値は、その地区の自然条件、それも降雨量と気温だけで推計したものであり、実際の水資源量とは一致しない。しかし、その土地の自然条件だけから考えた水資源賦存量あるいは水供給能力のひとつの指標として意味を持つ。推計結果を図表 5-11 に示す。

図表 5-11 水資源量の推計結果



出所：図表 5-10 に同じ

5.3 農業用水

5.3.1 基礎データ

有効灌漑面積（灌漑区の全体面積ではなく、その中で実際に灌漑が行われている区域の面積）に関しては、1949年以後、各省別の時系列データがある。ここで、黄河流域だけの有効灌漑面積を求めるには、縣市別のデータが必要である。しかし、これについては、1979-1991年の期間についてはデータが公表されていたが（中華人民共和国国家統計局、2001）、1992年以降のデータは公表されていない。このため、ここでは、1991年のデータを基に、各縣市が所属する省の有効灌漑面積の増加率を仮定することによって、2000年の値を求めた。その結果を図表 5-12 に示す。

図表 5-12 黄河流域の有効灌漑面積の推計結果

（単位：万畝）

	1991年（実績）	2000年（推計）
山西省	1,177	1,132
内蒙古	885	1,587
山東省	1,046	1,040
河南省	990	1,272
四川省	0.50	0.55
陝西省	1,643	1,629
甘肅省	501	545
青海省	148	172
寧夏	397	580
黄河流域	6,787	7,958

出所：図表 5-10 に同じ

有効灌漑面積 1 畝当たりの用水量（「灌漑定数」）については、『水資源公報』（水利部）が図表 5-13 に示す省別データを発表している。しかし、黄河流域に属する地域だけを対象としたデータではない。他方、『黄河水資源公報』（黄河水利委員会）は、各省のうち、黄河流域内の地表水・地下水の用途別消費量・耗水量のデータを公表している。これと図表 5-12 の有効灌漑面積データによって推計した灌漑定数を同じ図表 5-13 に示す。

図表 5-13 黄河流域関係省の灌漑定数の推計結果

(m³/畝)

	水資源公報		黄河水資源公報 に基づく推計
	1999年(実績)	2000年(実績)	
山西	209	210	210
内蒙古	455	446	446
山東	275	261	462
河南	234	197	505
四川	402	395	650
陝西	305	303	352
甘肅	628	619	478
青海	647	644	549
寧夏	1,352	1,213	309

出所：水利部『水資源公報』1999年版、2000年版、黄河水利委員会『黄河水資源公報2000年』

農業用水量は、灌漑定数と有効灌漑面積を乗じることによって得られるが、図表 5-13 の値が示すように、灌漑定数は地域、年によって大きな違いがある。また、下流では黄河流域の外にも農業用水を供給しているため、対象の灌漑面積をどの範囲に取るかによって値が異なる。

5.3.2 節水型農業シナリオ

将来の経済成長と人口増大は、農業用水需要に対して正負両方の効果をもたらす。まず、高い経済成長を達成するためには工業化が至上命令となり、工業用水需要は急増する。生活水準向上によって生活用水需要も増大する。食生活も変化し、1人当たりの穀物消費、特に飼料用穀物需要が増大する。この結果、食料増産のため、多毛作・多期作が必要となり、水需要は増大する。他方、節水型農業への投資、品種改良等への投資が可能となるため、農業の近代化が進み、灌漑定数は低下する。また、海外からの食糧輸入が可能となるため、国内農業生産はあまり増大せず、水需要もあまり増大しないというシナリオもあり得る。さらに、これらの結果は、人口増大の推移によって影響を受ける。たとえば、高い経済成長で低い人口増大の場合には、1人当たり所得の増大で1人当たり食料需要は増大し、これは水需要増加要因となる。しかし、人口増大が抑制されることは、水需要の抑制要因となる。

農業用水の将来需要を予測するには、これらの因子の複雑な関係をモデル化する必要があるが、その作業は容易ではない。そこで、ここでは以下に述べるような単純な分析にとどめる。すなわち、工業用水、生活用水に優先的に水を配分している現在の政策は将来にわたって維持されると仮定する。すると、流域内の各地域（省）で利用可能な水資源の総量は一定であるから、

農業用水量＝水資源総量－（工業用水量＋生活用水量）－（生態用水）

となる。ちなみに、黄河流域全体の水資源総量は平均で 580 億 m³なので、黄河の土砂運搬や生態系維持に必要な生態用水を 200 億 m³とすれば、農業用水、工業用水量、生活用水に利用可能な水資源総量は 380 億 m³である。ただし、生態用水としての必要量についてはこれより少なくてもよいという議論があり、その値をどう見積もるかによって農業への配分量も異なってくる。工業用水の循環利用や処理汚水の再利用、あるいは他流域からの導水がなければ、これが実際に利用可能な水の総量である。そこで、順序は逆であるが、後述する方法で工業用水と生活用水の需要量を予測し、農業に配分可能な量（農業用水）を決定する。すると、農業用水量を灌漑面積で除すことで灌漑定数の値が得られる。このようにして求めた結果を図表 5-14 に示す。ここでは、分析の便宜のため、2000 年を基準年として、この年における灌漑面積、灌漑定数、灌漑用水の各値を 100 としている。

図表 5-14 農業用水に関する将来シナリオ「節水型農業シナリオ」

	基準	大灌漑面積			小灌漑面積		
	2000 年	2010 年	2030 年	2050 年	2010 年	2030 年	2050 年
灌漑面積	100	132	136	140	114	117	120
灌漑定数	100	56	43	34	65	50	40
農業用水	100	74	59	48	74	59	48

注：2000 年における各項目の値を 100 としている。灌漑面積、灌漑定数の実際の値については

図表 5-12 および図表 5-13 参照。

出所：名古屋大学井村研究室作成

灌漑面積については、灌漑可能な土地の物理的な制約が大きいので、2つのシナリオを与えている。1990 年代、食料増産のため農業近代化に力が入れた結果、全国および黄河流域の灌漑面積はそれぞれ年率 1.2%⁶、1.8%⁷という高い率で増大した。特に、水資源不足の黄河流域では生産効率をあげるために灌漑面積が増大した。しかし、この高い増加率を長期間維持するのは困難である。まず、灌漑可能な地域の面積は自然条件的に限られている。また、新規灌漑区の建設よりは古い灌漑区の設備更新や近代化、節水のための施設改善などに農業投資の重点が移行するものと予想される。このため、灌漑面積の増加については、1990 年代の高い増加率が 2005 年まで持続した後、2050 年に対 2000 年比で 120 にまで増大する（年率 0.13%増）とする場合（小灌漑面積シナリオ）と、90 年代の増加率が 2010 年まで持続した後、2050 年に対 2000 年比で 140 にまで増大する（年率 0.15%増）場合（大灌漑面積シナリオ）の 2 ケースを仮定する。いずれの場合も、高い増加率が続いた後は 1990 年代以前の低い増加率に落ちるものとしている。

したがって、図表 5-14 に示す見通しは、こうなるだろうという予測値ではなく、工業化・都市化による水需要増加に対応するために農業部門は徹底的な節水を実行しなければならないというシナリオ（節水型農業シナリオ）である。この場合、2050 年の農業用水は現在の半分以下になってしまう。大灌漑、小灌漑それぞれいずれの場合も農業用水には大きな

⁶ 出所：中国統計年鑑 2001

⁷ 出所：名古屋大学推計

圧迫が加わるが、大灌漑面積の場合の方が圧迫は強い。このシナリオがこのとおり実現できるか、否かについては、マクロ経済、地域経済、食糧需給などの広い視点から検討が必要である。現在、かなり無駄使いが多いとされる農業用水であるが、灌漑定数（面積あたりの用水量）を現在の2分の1、3分の1にまで低下させるのは相当に困難であろう。そのため農業にだけ負担をかけるのではなく、工業用水、生活用水についての節水を促進させるシナリオが必要である。

5.3.3 自然体シナリオ

農業用水のもう1つのシナリオは、「自然体シナリオ」とでもいべきものである。ここでは、灌漑面積については「節水シナリオ」と同じ値を利用し、農業用水需要量は主に灌漑定数の変化に依存するとする。GDPが増大するほど農業部門への投資も増大するため、灌漑定数は減少する。このとき、人口がどのように影響するかは複雑である。人口が増大すれば、食料需要が増大するため、多期作・多毛作などによって土地を高度利用することになり、水需要は増大する。ここでは、**図表 5-15** に示すように、灌漑定数の減少が小さい場合と大きい場合の2つのシナリオを設定し、それぞれに応じた農業用水需要を求めることにする。灌漑定数は農業の近代化により減少する値である。したがって、その減少率は年々小さくなると考えられる。そこで灌漑定数の減少が小さい場合は2050年対2000年比で80、一方で減少が大きい場合は2050年対2000年比で70に収束するようにロジスティック関数を設定してシナリオを決定した。

図表 5-15 農業用水に関する将来シナリオー「自然体シナリオ」

(1) 灌漑定数の減少が小さい場合

	基準 2000年	大灌漑面積（シナリオ1）			小灌漑面積（シナリオ2）		
		2010年	2030年	2050年	2010年	2030年	2050年
灌漑面積	100	132	136	140	114	117	120
灌漑定数	100	92	85	80	92	85	80
農業用水	100	121	116	112	105	99	96

(2) 灌漑定数の減少が大きい場合

	基準 2000年	大灌漑面積（シナリオ3）			小灌漑面積（シナリオ4）		
		2010年	2030年	2050年	2010年	2030年	2050年
灌漑面積	100	132	136	140	114	117	120
灌漑定数	100	81	75	70	81	75	70
農業用水	100	107	102	98	92	88	84

出所：名古屋大学井村研究室作成

5.4 工業用水

5.4.1 利用可能なデータ

工業用水量は、単位工業生産当たり水需要原単位 ($\text{m}^3/\text{万元}$) に工業生産額 (万元) を乗じることによって求められる。ここでもし、地域別、業種別原単位と生産額のデータがあれば、より詳細な分析が可能になるが、実際に入手できるデータには限りがある。現在、統計書類から入手できるデータとしては、以下がある。

- ① 全国について、20 産業部門の工業用水原単位 (中国環境年鑑)
- ② 全国 666 市についての工業総生産値と総供水量 (工業用水+生活用水) (中国城市統計年鑑)
- ③ 全国 147 市についての工業用水使用量 (中国城市統計年鑑)
- ④ 全国 666 市について、39 部門の工業生産額 (中国城市統計年鑑)

以上のデータによって可能な解析方法を考える。まず、①のデータからは、全国ベースで、水消費原単位が相対的に大きな産業と小さな産業が特定できる。②と③からは、市ごとの工業部門全体の水消費原単位が得られる。ただし、工業総生産と工業用水の両方のデータが存在するのは 147 市だけである。また、工業用水は水道水のデータだけであり、工場が自家用に地下水を汲み上げている場合、その分は計上されていないという問題がある。④のデータからは、各市の産業構造の情報が得られるが、公表されているのは 1996 年までのデータで、それ以降は公表されていないという欠陥がある。同じ産業部門でも、施設の新旧や地域の水需給逼迫度によって原単位には差がある。ある地域の工業部門全体の原単位は、その地域における水を多く使う業種のウェイトに左右されるものと考えられるが、その状況は公表統計からは得られない。

5.4.2 工業用水量の推計方法

上に述べたデータを利用した市区工業用水予測の方法を以下に述べる。図表 5-16 はそのフローチャートである。

まず、 α 市の t 年における工業用水量 $W_i^{(\alpha)}(t)$ は以下のように表される：

$$W_i^{(\alpha)}(t) = w_i^{(\alpha)}(t)I^{(\alpha)}(t)$$

ただし、

$w_i^{(\alpha)}(t)$: α 市の t 年における工業生産 1 万元当たり水使用量 (「工業用水原単位」)

$I^{(\alpha)}(t)$: α 市の t 年における工業生産額 [単位：万元]

ここで、都市別年別の工業用水原単位のデータはほとんど整備されていないので、推計しなければならない。一般に、工業用水原単位は経済発展に応じて減少し、また、水消費原単位の大きな産業 (図表 5-17 に掲示するような産業) のシェアが大きいほど増加すると考えられる。ここで、その都市の経済発展のレベルを表す指標としては、その都市の 1 人当たり GDP、GDP に占める第 2 次産業比率を採用することにし、次の回帰式によって工業用水原単位を推計する：

$$w_i^{(\alpha)} = f(y^{(\alpha)}, r_i^{(\alpha)}, \sigma_1^{(\alpha)} w_{i1}, \sigma_2^{(\alpha)} w_{i2}, \dots, \sigma_n^{(\alpha)} w_{in})$$

$$= ay_i^{(\alpha)} + br_i^{(\alpha)} + \sum_k c_k \sigma_k^{(\alpha)} w_{i,k} + d$$

ただし、

$y^{(\alpha)}$: α 市の 1 人当たり GDP

$r_i^{(\alpha)}$: α 市の GDP に占める第 2 次産業（工業）の比率

$$\sigma_k^{(\alpha)} = \frac{I_k^{(\alpha)}}{\sum_k I_k^{(\alpha)}} \bigg/ \frac{\sum_{\alpha} I_k^{(\alpha)}}{\sum_{\alpha} \sum_k I_k^{(\alpha)}} : \alpha \text{ 市における産業 } k \text{ の特化度}$$

$w_{i,k}$: 全国レベルでの k 産業の水消費原単位

ここで、特化度 $\sigma_k^{(\alpha)}$ は、水消費原単位の大きな産業 k が α 市においてどの程度重要な位置を占めるかを、 α 市における産業 k の比重と全国における k 産業の比重との比によって定義したものである。ここで、上述のとおり、都市別の工業総生産 $I_k^{(\alpha)}$ のデータは、666 都市、39 部門について 1996 年のものが利用できる（中国城市統計年鑑）が、もっと最近年のデータは入手できない。そこで、1996 年を分析の基準年として、将来予測を行う。一方、全国ベースの産業別水使用量は 20 部門についてのみ入手できた（中国環境年鑑）。このため、39 部門の産業を 20 部門に区分し直す。次に、水消費原単位の大きな産業として **図表 5-17** に示す上位 7 産業を取り上げた。この際、電力・ガス・水供給部門は水消費原単位の大きな部門であるが、他の産業部門に比べて水の使用用途・使用構造に大きな違いがあるため除外した。

ここで、上記のとおり、工業総生産値と総供水量のデータは 666 市で存在するにもかかわらず、工業用水使用量のデータは 147 市でしか存在しない。このため、工業用水使用量データが存在しない市については、次の方法でその値を推計した。すなわち、データが存在する 147 市について、総供水量 $W^{(\alpha)}$ と 1 人当たり生活用水量 $w_d^{(\alpha)}$ を説明変数とする重回帰式を求め、その他の市についてはこの式によって工業用水使用量を推計した。使用した回帰式は以下のとおりである。

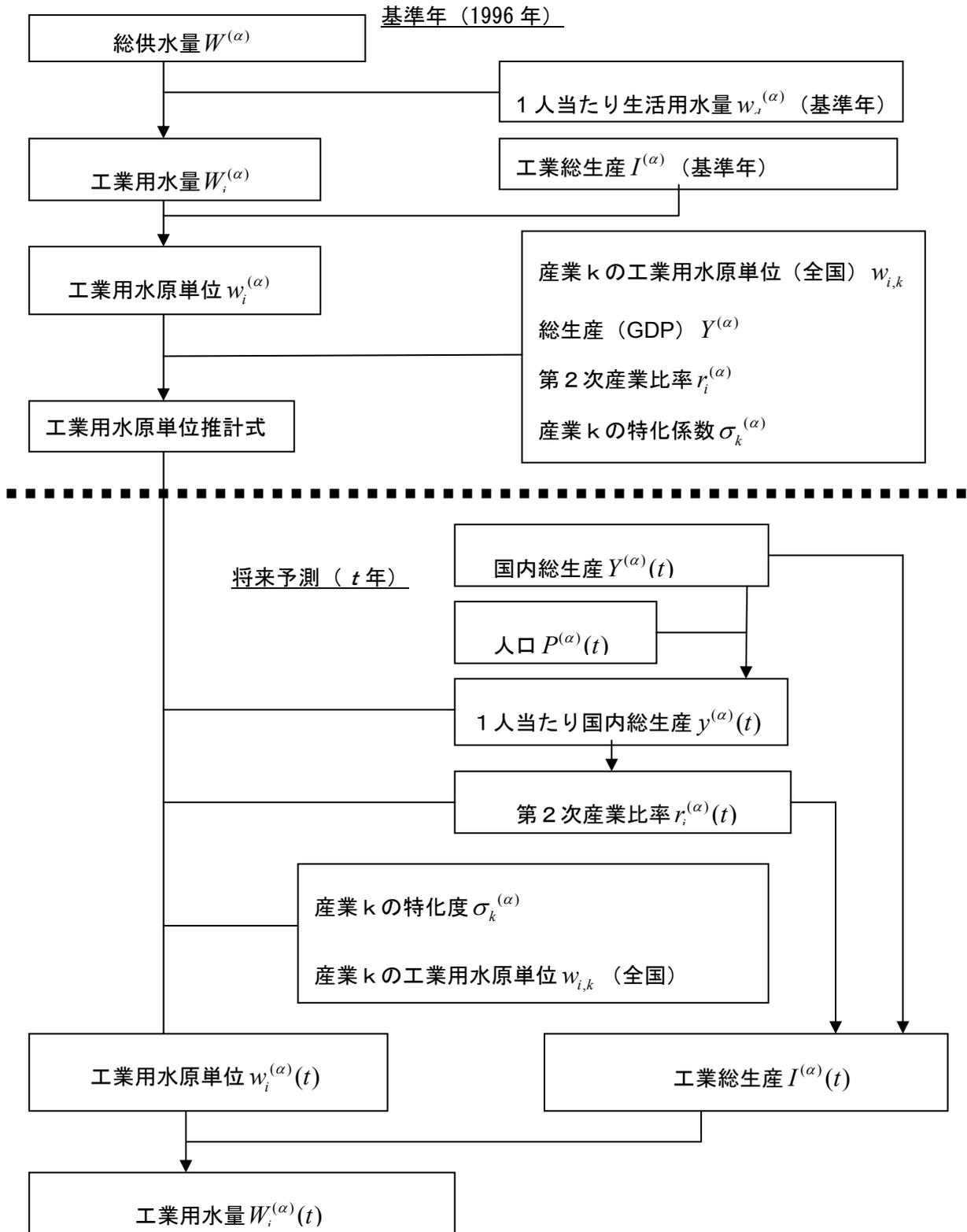
$$w_i^{(\alpha)} = e + fW^{(\alpha)} + gw_d^{(\alpha)}$$

$$e = 1,858, f = 0.547, g = -24.4, R^2 = 0.966$$

$$(2.88157) (97.88624) (-2.9783) (t \text{ 値})$$

以上によって、1996 年について工業用水原単位を推計した結果が **図表 5-17** である。

図表 5-16 市区工業用水量予測のフローチャート



出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 5-17 工業用水原単位の推計結果

	係数
重決定	$R^2 = 0.408807$
1人当たり国内総生産	$a = -0.8248$
第2次産業比率	$b = -1.15295$
造紙・紙製品業	$c_1 = 0.03093$
石油加工・コークス製造業	$c_2 = -0.02972$
黑色金属精錬・圧延工業	$c_3 = -0.01177$
化工原料・化学製品製造業	$c_4 = -0.14493$
有色金属精錬・圧延工業	$c_5 = -0.01448$
採掘業	$c_6 = 0.020728$
化学繊維製造業	$c_7 = -0.0527$
切片	$d = 4.592618$

出所：名古屋大学井村研究室作成

以上によって、基準年（1996年）における工業用水原単位推計式が得られた。将来（ t 年）における工業用水使用量は、同じ工業用水原単位推計式に、1人当たり総生産、総生産に占める第2次産業比率の将来設定値を代入することによって求める。ただし、各市における各産業の特化度は一定と仮定している。すなわち、各市の工業生産は将来増大するものの産業別シェア（産業構造）は一定と仮定している。また、将来にわたって同じ工業用水原単位推計式を適用している。これらは改善が必要な課題である。

最後に、各市の工業総生産 $I^{(\alpha)}(t)$ の将来値については、第2次産業生産額 $Y^{(\alpha)}(t)$ と総生産に占める第2次産業比率 $r_i^{(\alpha)}(t)$ の積に単純比例すると仮定し、次式による簡単な単回帰式によって求めた：

$$I^{(\alpha)}(t) = \lambda Y^{(\alpha)} r_i^{(\alpha)}$$

回帰は、市区と県（地区－市区）について別々に行い、以下の結果を得た。

市区 : $\lambda = 3.0986$
 $R^2 = 0.9474$ (122.65) (t 値)

県（地区－市区）: $\lambda = 3.6751 \times \text{総生産} \times \text{第2次産業比率}$
 $R^2 = 0.9145$ (61.13) (t 値)

ただし、ここで市に関しては市区のデータを、県に関しては地区のデータから市区のデータを除いたものを用いた。結果を図表 5-18 に示す。

図表 5-18 工業総生産の推計結果

(億元)

	2000 年	2010 年	2030 年	2050 年
山西	1,674	2,905	7,150	12,634
内蒙古	1,154	1,993	5,022	9,054
山東	3,300	7,417	29,448	75,162
河南	1,932	3,881	13,342	32,670
四川	3	6	19	38
陝西	2,459	4,545	12,414	24,407
甘肅	944	1,601	3,906	7,006
青海	234	319	677	1,044
寧夏	405	672	1,580	2,688
黄河流域	12,105	23,338	73,558	164,703

出所：名古屋大学井村研究室作成

5.4.3 県別工業用水量の予測

市については、上記のように不十分ながらもある程度のデータが利用できる。これに対して、県については1人あたり国内総生産および工業総生産のデータしか得ることが出来ない。そこで、ある県の属性は、その県が属する市と同様であるという仮定をおいて推計する。すなわち、i市に属しているj県の工業用水原単位を求める際には、j県の第2次産業比率や特化係数等としてi市と同じ値を用いる。ただし、このj県とi市では1人あたり国内総生産および工業総生産の値は異なるので、県の特徴はそこに反映される。当然ながら、このように算出した値は誤差を含んでおり、マクロに集計した場合、数値が合わなくなる。そこで、今回は2000年の省別工業用水量の実測値 $W_i(actual)$ (中国水資源広報2000) と推計値 $W_i(cal)$ で補正係数 γ を算出し、それを個々の工業用水原単位に乘じる事により補正を行うこととする。

$$\gamma = W_i(actual) / W_i(cal)$$

5.4.4 推計結果

以下に、省別の工業用水量 $WI_i(t)$ および工業用水原単位 $wi(t)$ の将来推計値を示す。工業用水量は2000年から2050年にかけて約1.77倍に増加し、一方工業用水原単位は2000年から2050年にかけて87%減少するという結果となった。

図表 5-19 工業用水量の推計結果

(億 m^3)

	2000年	2010年	2030年	2050年
山西	9.04	10.95	15.05	17.82
内蒙古	7.39	8.86	11.64	12.73
山東	11.22	13.65	18.22	19.49
河南	12.75	15.91	23.52	29.42
四川	0.03	0.04	0.05	0.07
陝西	17.46	19.70	22.83	23.00
甘肅	14.07	16.87	22.40	27.04
青海	4.21	3.92	3.35	2.98
寧夏	7.38	8.60	11.82	15.04
黄河流域	83.54	98.49	128.89	147.58

出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 5-20 工業用水原単位シナリオ

(m^3 /万元)

	2000年	2010年	2030年	2050年
山西	54	37.69	21.06	14.11
内蒙古	64	44.48	23.18	14.06
山東	34	18.40	6.19	2.59
河南	66	40.98	17.63	9.01
四川	119	65.32	27.55	17.09
陝西	71	43.35	18.39	9.42
甘肅	149	105.36	57.34	38.60
青海	180	122.82	49.46	28.51
寧夏	182	128.05	74.79	55.97
黄河流域	69	42.20	17.52	8.96

出所：名古屋大学井村研究室作成

5.5 生活用水

5.5.1 生活用水の決定因子

生活用水量を大きく支配するのは、市民生活の豊かさである。豊かさとともに、水を多く消費するライフスタイル、たとえば水洗トイレ、風呂・シャワー、電気洗濯機などが普及することで水の消費は増大する。また、都市の財政が豊かになれば、市民のニーズに対応するための給水システム（上水道）の整備も進む。給水システムが整備されると、それまでの水不足の不自由から解放され、水消費はさらに増大する。したがって、大局的には、生活の豊かさ、たとえば一人当たり GDP を説明変数として生活用水需要の将来を推計することができる。しかし、実際には、生活用水の消費には各地域の個別事情、例えば水道

料金やその土地の気象・気候、水道・給水施設の完備度等が反映される。個々の都市単位で考えた場合、これらの事情はそれぞれの都市で大きく異なるため、都市ごとの個別事情を考慮しなければ生活用水需要の正確な予測は困難となる。他方、国全体や省などの大きな地域で考えた場合、これらのマイクロな要素は平均化されるため、一人当たり GDP を説明変数としたモデルで、ある程度の予測精度を得ることができると考えられる。

一般に生活用水の定義には、住民の日常生活用水に加え、飲食店や旅館・ホテル、病院、理髪店、浴場、プール、クリーニング店、商店および事務所等の第三次産業が使用する水が含まれる。したがって、都市が経済的に発展すると、家庭生活における水消費だけでなく、旅行者が増えたり、水を多く使うサービス業が活発になったりすることによっても水消費は増える。一般に都市の市街地部においては、経済発展とともに近代的な上水道が設置され、各戸、各ビルに水道水が給水される。先進国の例では、こうした都市住民の生活用水量は 200～300 リットル／日程度である。中国においても、既に上水道にアクセスできる人（用水人口）の生活用水量は既にこの値に近く、今後、経済成長とともにその値は増大すると見込まれる。しかし、まだ農村部や都市の郊外では上水道にアクセスできない人も多く、その用水量は 50～80 リットル／日と極端に少ない。したがって、生活用水量の将来予測のためには、上水道にアクセスできる用水人口の予測が必要である。

ここで、一般に、中国の都市の定義には、中心市街地部だけでなく周囲の広大な農村地帯も含まれる。上水道にアクセスできる都市人口は、城市非農業人口の大部分と城市農業人口の一部である。前者は、市街化された地域に住む人々である。これに対して、後者は郊外に住む人々である。前者についての用水普及率は既に 97% に達しており、早晚 100% になると予想される。しかるに、後者の用水普及率は現在 35% 程度であり、上水道整備の今後の課題は、これらの人々に対する給水である。なお、本調査では、上水道による供水量（城市における非農業人口と農業人口の一部）を都市生活用水、それ以外を農村生活用水（城市の一部と農村）と定義している。

以上のことから、生活用水の将来予測には、①城市非農業人口と城市農業人口の値の将来予測、②城市農業人口に対する用水普及率の設定、③都市および農村の人口 1 人当たりの用水量（都市生活用水（上水道有り）と農村生活用水（上水道無し）の両者について）の設定の 3 つの要素が必要である。本報告では、②については、2050 年において 100% 普及するという仮定によって、以下のようなシナリオを設定した。

図表 5-21 用水普及率シナリオ

	2000 年	2010 年	2020 年	2030 年	2040 年	2050 年
城市非農業人口	97%	100%	100%	100%	100%	100%
城市農業人口	8%	26%	45%	63%	82%	100%

出所：名古屋大学井村研究室作成

また、③については、『中国可持続発展水資源戦略研究報告書第 2 巻』を参考に図表 5-22 のようなシナリオを設定した。すなわち、農村生活用水原単位（上水道無し）および都市全体の生活用水原単位のシナリオは上記の文献より引用した。また、次式を用いて都市生活用水原単位（上水道有り）を算出した。但し、2000 年に関しては上記文献では数値を得

られなかったため、『中国水資源公報 2000』の都市生活用水原単位（上水道有り）および農村生活用水原単位（上水道無し）の実績値を引用し、シナリオを設定した。

生活用水総量

= 1人当たり生活用水（平均）×全人口（上水道有りと無し）

= 1人当たり生活用水（上水道有り）×人口（上水道有り）

+ 1人当たり生活用水（上水道無し）×人口（上水道無し）

このシナリオでは、いわゆる「農村部」においては、2050年まで上水道が普及しないが、上水道へのアクセスがなくても2050年までには100リットル/人・日まで使用量が増加すると想定した。また、地域全体を一律としているが、実際にはその地域の気候、所得水準、水の価格、水資源の賦存条件などによって異なる。その詳細な分析は今後の課題である。

図表 5-22 都市生活用水量（上水道有り）と農村生活用水量（上水道無し）シナリオ

	2000年(実績)	2010年	2030年	2050年
都市生活用水（上水道有り）（リットル/人・日）	167	170	166	175
農村生活用水（上水道無し）（リットル/人・日）	53	65	80	100

注：2000年に関しては『水資源公報 2000』の実績値を利用

出所：名古屋大学井村研究室作成

以上の枠組みに従えば、我々の課題は上記①、すなわち城市非農業人口と城市農業人口の値の将来予測である。まず、第一ステップとして、中国全体の非農業人口と農業人口の将来予測を行った。ここでは、非農業（2次および3次産業）と農業（1次産業）との1人あたり所得格差に比例して、農から非農業へと人口が移動するという簡単な仮定によって計算する。データの制約上、ここでは31の省別の1990および2000年の総人口、非農業人口、所得格差データを用いた回帰式によって推計する。ここで、所得格差は、次式で定義する。

$$\text{所得格差} = \frac{\text{GDP} \cdot (\text{第2次産業比率} + \text{第3次産業比率})}{\text{非農業人口}} - \frac{\text{GDP} \cdot \text{第1次産業比率}}{\text{農業人口}}$$

この結果得られた回帰式を以下に示す。

$$\ln \left(\frac{1}{\frac{\text{非農業人口}(t+1)}{\text{総人口}(t+1)} - 0.85} \right) = 5.66 \cdot \frac{\text{非農業人口}(t)}{\text{総人口}(t)} - 0.51 \cdot \text{所得格差} + 2.48$$

$$R^2 \text{ 値} = 0.97 \quad (t \text{ 値}) \quad (31.75) \quad (3.29) \quad (27.47)$$

上記の推計式に2000年における城市（55都市）の非農業人口、総人口のデータを代入して得られる2010年の城市の非農業人口を省別に集計し直したのが図表 5-23 である。また、図表 5-4 で設定した人口の将来シナリオから得られる城市総人口から城市非農業人口を除き省別に集計し直したのが図表 5-24 の城市農業人口である。以上のようにして得られた値に、図表 5-21 の用水普及率シナリオを適用して得られる用水人口と非用水人口を図表 5-25、図表 5-26 に示す。この値に図表 5-22 に示した都市生活用水量（上水道有り）と農

村生活用水量（上水道無し）シナリオを適用して得られる都市生活用水量（上水道有り）と農村生活用水量（上水道無し）および生活用水量を図表 5-27 および図表 5-28 に示す。なお、城市非農業人口は城市総人口から城市農業人口を引いて求めている。

図表 5-23 城市非農業人口

(1,000 人)

	2000 年（実績）	2010 年	2020 年	2030 年	2040 年	2050 年
山西	3,521	4,956	6,390	7,708	8,338	8,780
内蒙古	2,608	3,119	3,623	4,153	4,440	4,698
山東	4,089	6,735	8,754	10,115	10,607	10,998
河南	2,193	4,682	5,804	6,959	7,827	8,790
四川	0	0	0	0	0	0
陝西	4,587	7,047	9,402	11,906	13,834	17,571
甘肅	2,381	3,021	3,747	4,544	5,022	6,019
青海	1,250	1,814	2,496	3,151	3,497	4,144
寧夏	997	1,173	1,432	1,675	1,793	2,114
黄河流域	21,626	32,547	41,648	50,211	55,357	63,114

注：四川省（黄河流域内）に城市は存在しない。

出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 5-24 城市農業人口

(1,000 人)

	2000 年（実績）	2010 年	2020 年	2030 年	2040 年	2050 年
山西	3,672	3,156	2,555	2,145	1,890	1,824
内蒙古	904	945	931	940	924	939
山東	4,970	3,427	2,386	2,087	1,991	1,994
河南	3,587	1,963	1,824	1,883	1,926	2,028
四川	0	0	0	0	0	0
陝西	4,126	3,506	3,257	3,213	3,090	3,521
甘肅	2,086	2,020	1,811	1,579	1,337	1,395
青海	216	462	684	845	885	990
寧夏	525	496	437	407	383	426
黄河流域	20,085	15,975	13,885	13,100	12,428	13,116

出所：名古屋大学井村研究室作成

图表 5-25 用水人口

(1,000 人)

	2000 年	2010 年	2020 年	2030 年	2040 年	2050 年
山西	3,709	5,789	7,535	9,063	9,880	10,604
内蒙古	2,602	3,369	4,040	4,747	5,194	5,638
山东	4,364	7,640	9,823	11,434	12,232	12,992
河南	2,414	5,200	6,621	8,149	9,399	10,818
四川	0	0	0	0	0	0
陕西	4,780	7,973	10,861	13,937	16,355	21,092
甘肃	2,477	3,554	4,559	5,542	6,113	7,414
青海	1,230	1,936	2,803	3,685	4,219	5,134
宁夏	1,009	1,304	1,628	1,932	2,106	2,539
黄河流域	22,584	36,765	47,869	58,490	65,498	76,231

出所：名古屋大学井村研究室作成

图表 5-26 非用水人口

(1,000 人)

	2000 年	2010 年	2020 年	2030 年	2040 年	2050 年
山西	16,415	15,884	15,310	15,017	14,071	13,217
内蒙古	5,020	4,990	4,854	4,716	4,306	3,900
山东	11,153	9,149	7,940	7,359	6,530	5,737
河南	14,608	12,958	12,537	12,064	10,724	9,216
四川	160	161	171	182	182	205
陕西	22,316	20,974	19,821	18,584	16,169	15,444
甘肃	15,689	16,114	16,282	16,542	15,967	17,382
青海	3,312	2,736	2,060	1,376	752	349
宁夏	4,534	4,534	4,678	4,879	4,836	5,407
黄河流域	93,206	87,501	83,654	80,720	73,536	70,858

出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 5-27 都市生活用水量（上水道有り）と農村生活用水量（上水道無し）

（億 m³）

	都市生活用水（上水道有り）				農村生活用水（上水道無し）			
	2000年	2010年	2030年	2050年	2000年	2010年	2030年	2050年
山西	2.26	3.59	5.50	6.77	3.18	3.77	4.38	4.82
内蒙古	1.59	2.09	2.88	3.60	0.97	1.18	1.38	1.42
山東	2.66	4.74	6.94	8.30	2.16	2.17	2.15	2.09
河南	1.47	3.33	5.03	6.91	2.83	3.04	3.48	3.36
四川	0	0	0	0	0.03	0.04	0.05	0.07
陝西	2.91	4.95	8.45	13.47	4.32	4.98	5.42	5.64
甘肅	1.51	2.21	3.36	4.74	3.03	3.82	4.83	6.34
青海	0.75	1.20	2.23	3.28	0.64	0.65	0.40	0.13
寧夏	0.62	0.81	1.17	1.62	0.88	1.08	1.42	1.97
黄河流域	13.77	22.91	35.56	48.69	18.03	20.72	23.51	25.86

出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 5-28 生活用水量

（億 m³）

	2000年	2010年	2030年	2050年
山西	5.44	7.36	9.88	11.60
内蒙古	2.56	3.27	4.25	5.02
山東	4.82	6.91	9.08	10.39
河南	4.30	6.36	8.51	10.27
四川	0.03	0.04	0.05	0.07
陝西	7.23	9.92	13.88	19.11
甘肅	4.54	6.03	8.19	11.08
青海	1.39	1.85	2.64	3.41
寧夏	1.49	1.88	2.60	3.60
黄河流域	31.80	43.63	59.07	74.56

出所：名古屋大学井村研究室作成

5.5.2 予測結果概要

都市生活用水量は2000年から2050年にかけて約2.56倍に増加する結果となった。ただし、ここでは、現在の城市と将来の城市が同じという仮定をした。実際には県から城市（県級市）に区分が変わることがあり、今後そのことを考慮に入れる必要がある。

5.6 結果のまとめ

5.6.1 水不足量のシナリオ

以上の結果をまとめたのが**図表 5-29**である。ここでは、農業用水について「自然体シナリオ」を採用している。

ここで行った予測は、人口と経済に関する将来シナリオを仮定した上でのシミュレーションの結果である。ただし、この報告書では、分析の第一歩として、得られた数値の信頼性、信憑性について深い議論を展開するよりは、農業用水、工業用水、生活水のそれぞれの需要がどのような要因によって変化し、前提条件を変化させることによって結果がどのように変化するかをテストすることを目的としている。各セクターの水資源需要は、設定したマクロフレームとシナリオによって変化するので、ここに出した結果は1つのモデルケースに過ぎないが、黄河流域の水資源需給の大局的な構造を理解する上で参考になる。

図表 5-29 将来シナリオ総括表

(単位：億 m³)

		大灌漑面積（シナリオ1）			小灌漑面積（シナリオ2）		
（灌漑定数の減少：小）	2000年	2010年	2030年	2050年	2010年	2030年	2050年
水資源量	566	580			580		
利用可能量 A	380	380			380		
農業用水 W1	328	397	378	367	343	326	315
工業用水 W2	84	98	129	148	98	129	148
生活用水 W3	29	44	59	75	44	59	75
需要総量 B=W1+W2+W3	440	540	566	589	485	514	537
不足量 B-A	60	160	186	209	105	134	157

		大灌漑面積（シナリオ3）			小灌漑面積（シナリオ4）		
（灌漑定数の減少：大）	2000年	2010年	2030年	2050年	2010年	2030年	2050年
水資源量	566	580			580		
利用可能量 A	380	380			380		
農業用水 W1	328	350	334	321	302	287	275
工業用水 W2	84	98	129	148	98	129	148
生活用水 W3	29	44	59	75	44	59	75
需要総量 B=W1+W2+W3	440	492	522	543	444	475	497
不足量 B-A	60	112	142	163	64	95	117

注：農業用水については「自然体シナリオ」を採用
出所：名古屋大学井村研究室作成

利用可能な水資源量（水資源量－生態用水）が流域全体で一定とすれば、現在既に深刻な水不足はさらに深刻になる。現在（2000年実績）と2050年を比べると、工業用水は84億 m^3 から148億 m^3 に、生活用水は29億 m^3 から75億 m^3 に増大する。工業用水と生活用水についてのこうした増加は、工業生産の拡大、都市人口の増加、都市住民の生活レベル向上とともに必然的にもたらされるものである。農業用水については、灌漑面積が今後どれだけ増加するか、灌漑定数（単位農地当たりの水消費量）がどれだけ減少するかによって値は異なるが、大灌漑面積でしかも灌漑定数の減少率が小さい場合（図表5-29シナリオ1）には、328億 m^3 から367億 m^3 に増大する。この結果、3つのセクターを合計した不足量は、60億 m^3 から209億 m^3 に増大する。これに対して、小灌漑面積でしかも灌漑定数の減少率が大きい場合（図表5-29シナリオ4）の農業用水は328億 m^3 から275億 m^3 に減少し、全体の不足量は117億 m^3 にとどまる。

5.6.2 今後の対応策

それでは、こうして計算された水の不足量をどのように解釈すべきであろうか。流域全体の水資源量が一定である限り、この不足量は何らかの方法で調達あるいは調整しなければならない。

水不足解消への対応策としては、第一に南水北調のように他地域からの導水を含めた水源開発が挙げられる。第二の対応策は、域内における調節であり、それは水の節約、再利用、水汚染対策によって可能となる。第三の対応策は、上中流域の水資源環境の保全であり、表土流出の防止や保水機能の保全等を目的とする植林植草による効果が指摘できよう。

これまで見てきたように農業は2000年の水需要の75%を占め、2050年の各シナリオにおいても60%前後と大きなシェアを占める。したがって農業部門における節水の進展状況によって水不足の深刻度が大きく変化する。但し、近代化が遅れている北部農業・農村に、安価で効率的な節水灌漑技術を導入するためには、公的部門による基盤整備、灌漑事業や節水事業を効率的に進めるための農民水利組織、そして節水のインセンティブを図ると同時に過大な負担とならない農業用水価格の設定が鍵となろう。

工業用水部門は再利用の可能性の高いセクターであり、業種ごとの技術進歩、あるいは水を多く消費する形態から節水型への産業構造の転換が実現すれば、工業用水部門全体の原単位はかなり減少する可能性がある。実際、同じ業種でも地域によって、また、採用している技術の内容・レベルによって原単位はかなり異なるが、ここではそうした業種ごとの原単位改善や産業構造転換のシナリオ設定に必要なデータが入手できなかったため、これについての分析は不十分なままである。すなわち、今後の大幅な技術進歩によって、工業用水原単位が現在に比べて半減、あるいはそれ以上減少するというような大幅な改善の可能性があり、その場合には工業用水の増大は横ばい、もしくは少し減少する可能性がある。その実現は、水不足の程度と水価格が節水型技術開発と普及のためのインセンティブとしてどれだけ強く作用するかどうか、各級政府が強制力のある関連政策をどのように打ち出すか等に依存する。

生活用水、特に都市生活用水は都市人口の増大と生活水準の向上によって確実に増大すると見られるが、漏水率の小さい効率的な上水道設備の整備、リサイクル率向上のための

下水処理設備の整備、および水価格の引上げによる水消費抑制効果が存在すると思われる。但し、上記の各用途別水需要に対して水価格が与える影響等は今後の研究課題として残されている。

上記の予測は静態的なものであり、実際には、産業構造の改変（食糧生産減少や工業生産減少等の縮小バランスを含む）、水利用制度・組織面の変化、価格改定等の諸要因によって、水の需給バランスが実現される方向で徐々に調整が行われることとなる。したがって、計算の前提とした諸条件は市場需給動向や政策変化等によって変化することになるが、当モデル分析の意義は、設定した仮定や前提のどこが変化し、どこに修正が迫られるかを考察し、それを通じて、水需給バランスの実現が最も円滑、且つ、効率的に実現される諸条件を検討する材料を提供することにある。そしてそのためには価格や制度等の他の要因を加えた精緻なモデル構築が必要であり、具体的には次章において指摘するテーマが今後の研究課題となろう。

第6章 今後の調査・研究課題

6.1 本調査の成果と課題

6.1.1 本調査の成果

本調査では、黄河流域およびこれを含む中国北部の水資源問題に関してこれまでに実施された調査の文献レビューと行政・研究機関に対するインタビュー調査を行い、黄河流域の水資源問題の概要を整理した。また、既存研究の問題点を明らかにするとともに、本調査に参考となる調査・分析手法についてのサーベイを行った。黄河流域の水資源関連プロジェクト（中国政府、JBIC、世界銀行など）のレビューも行い、これまでの水資源問題への対応策について整理した。次に、水資源不足の現状を把握するため、黄河流域の水資源需給についてマクロ的な分析を行った。具体的には、統計資料等から入手可能な省・県別、セクター別の統計データ、土地利用図等に基づいて、農業用水、工業用水、都市生活用水について流域全体の需要予測（正確にはより精密な需要予測を行うための予備的検討）を行い、水不足がさらに深刻化すると結論を得た。

今後、調査内容を深化させていくにあたり、最大の困難はデータの不足である。データに基づく信頼度の高い分析を行うためには、対象となる地域、セクターを限定し、アンケートや質問票調査をまじえた現地調査によるデータ収集を丹念に行いながら分析しなければならないが、中国国内ではこうした調査の実施経験が少ないので、その実施体制の構築から始める必要がある。以下、残された課題について整理する。

6.1.2 需要モデルの改善

黄河流域の将来水需給は、供給制約と需要増大圧力のバランスによって決定される。供給制約は、南水北調のような大規模な導水事業が実行されない限り、根本的な解消は難しい。しかも、30～50年という長期的な時間で考えた場合、地球規模での気候変動の影響が顕在化する恐れもある。この面での科学的研究はまだ十分に進んでおらず、降雨が増えるのか減少するのか、IPCCの報告書（Houghton *et al* 編、2001）でも明確な予測は示されていない。しかし、一般的な予測としては、最近の中国北部の乾燥化、砂漠化の傾向から見て、黄河上流の水源地帯における一層の乾燥化、降雨減少が懸念される。これは、長

期的に見て、黄河流域の水資源の供給不足をさらに厳しいものにする恐れがある⁸。また、南水北調も、黄河流域以上に厳しい水不足に置かれた北京、天津を含む海河流域への導水が優先である。このため、黄河流域の供給制約が大幅に緩和される可能性は薄いと見られる。そうすると、需要抑制への要求はますます厳しいものになる。前章で行った水需要予測は、正確には予測ではなく、いくつかの仮定に立脚した将来見通しあるいはシナリオに過ぎない。予測モデルとして高度化するには、いくつかの検討課題がある。

(1) マクロフレームの設定

第一は、人口と経済成長に関するマクロフレームの設定である。水資源の需要は、流域内の各地域の人口、都市化率（総人口に占める都市人口の割合）、GDP、農業生産、工業生産などの因子によって決定される。さらに、これら因子を決定するのは、国全体の経済成長と人口である。

水需要を予測する前提として、国全体の人口とGDPの成長を仮定した上で、それを各省・地域に配分することになる。その際、東部沿海部と西部内陸部の東西、北部の黄河・淮河・海河流域と南部の長江流域の南北について、異なるウエートを置いたシナリオ設定が必要である。中国政府は、第10次5ヵ年計画（2001～2005年）において西部大開発の大方針を打ち出した。西部の中心地域の1つが西安を含めた渭河流域（関中平野）である。西部大開発が推進されれば、黄河上中流域の工業化、都市化が進行し、工業用水、生活用水の需要も増大すると見込まれる。また、地域格差と同時に、都市化と工業化についての整合性のとれたシナリオ設定も必要である。

中国全体の人口については国連等による予測があり、経済についてもいくつかの予測がなされている。しかし、これら、特に経済予測は、厳密には予測というよりも予測者の主観や期待をまじえた見通しと言うべきものである。中国の国全体および各地域の経済成長と人口の予測は、それ自身が1つの大きな研究テーマである。水資源需給モデルの中でそれを行うのはかなり困難であるので、これらの条件については外生的に与えることにせざるを得ないものの、省別の状況を考慮したより妥当なシナリオ設定についてはさらに検討を要する。

(2) 内生モデルの構築

第二の課題は、モデルとしての高度化のため、一定のマクロフレームを前提に、活動レベルと原単位の変化をモデルの内部で内生的に決定できるようにすることである。需要予測のためには、活動レベルと原単位の両者の将来予測が必要であるが、実は両者は相互にフィードバックし合う関係にある。たとえば、工業生産が高まれば水需要は増大するが、成長とともに工業部門の近代化も進行するので、技術進歩によって原単位は減少する。ま

⁸ 本調査における供給モデル（水資源量の推定）では、降雨量と気温だけによる簡易な推計を行なった。今後、長期的な水資源量の変化を考慮に入れ、より精度の高い推計を行なうには、以下の点について分析を深めることが必要となるだろう。

- ・ 土地利用データ（例：衛星データ）と気象データによる蒸発散量の推計
- ・ 農地についての作物別、耕作法別の蒸発散量の推計
- ・ 表流水、地下水の収支モデルの構築
- ・ 長期的な気候変動（地球温暖化、砂漠化）との関係
- ・ 統計的偏差の分析：洪水年、渇水年の分布、発生頻度など
- ・ 土地利用との関係：農地拡大、砂漠化と降雨量の関係
- ・ 河川流量、地下水の賦存量の正確な把握

た、工業部門の成長によって、農業近代化への投資も可能になって農業部門の原単位も減少する。水需要の将来予測のためには、これらの相互フィードバックをモデル化する必要があるが、これまでの調査研究においてまだ十分には検討が行われていない。本調査においても、その点は同様である。

諸因子の相互関係、フィードバックを取り入れる際、水という希少資源の配分を市場メカニズムに委ねるとすれば、価格機構を明示的に取り入れたモデルの構築が必要である。その場合には、農業、工業、都市生活の各セクターにおける水需要の価格弾力性を知る必要があるが、長く計画経済体制下にあった中国ではこれについてのデータの蓄積が弱いという問題がある。将来にわたり、水需要の最大のシェアを占めるのは農業セクターである。農業用水は食糧需給問題と密接に絡んでいるため、農業用水需要の将来見通しは、中国の経済、人口のみならず世界の食糧市場も関係する大きな問題である。そうした諸問題を含めた大きなマクロフレームの中でシナリオを設定する必要がある。工業用水については、中国の将来の地域別産業構造変化に関する将来シナリオの設定が必要である。都市生活用水については、地域別の都市化とライフスタイル変化についての見通しが必要である。これらは、セクターごとにかなり詳細に分析すべきテーマである上に、上記のように、各セクター同士の相互フィードバックも考慮する必要がある。こうした問題を正確に分析しようとすると、中国の国全体の経済を分析することが必要であり、これは非常に大がかりな作業となる。現実的なアプローチとしては、国全体を見渡したマクロな分析と平行しながら、個別の地域や部門ごとに足元からデータを集めていくことになるだろう。

6.1.3 政策評価研究の必要性

技術導入（生産プロセスの改善、節水・リサイクル技術の導入）、価格政策、水資源の配分政策、産業政策等の個別政策に焦点を絞った政策評価研究も必要である。

(1) 技術導入

水は、エネルギーに比べると、大量輸入の難しい地域的供給制約の強い資源である半面、節約や再生利用の可能性の高い資源と言える。もちろん、蒸発散によって失われる分があり、使用するに従って汚染物質や不純物が多くなるので、それを除去するために多くの薬剤やエネルギーの投入が必要である。従って、水不足が深刻化すれば、系内で徹底した再生利用を行うことも可能であるが、費用は上昇する。また、飲料水としての「おいしさ」と言った面での品質は落ちる。結局、水不足が経済成長のボトルネックになるかどうかは、節水のための技術導入や汚水の浄化のために実質的な水価格がどれだけ上昇するかに依存する。実際、工業生産や農業生産の増大に対する水消費の弾性係数は1よりはかなり小さい値になっている。将来的には、生産を増大させつつ正味の水消費（外部から投入する新鮮水の利用）は減少させることが可能である。しかし、それがどこまで可能か、またどのくらいのスピードで進行するかは、技術と費用に依存した問題である。その問題に答えるには、先進国や国内で節水の進んだ地域の技術水準との比較が1つの有力な根拠になるだろう。

工業用水原単位については、個々の産業セクターあるいは工場の技術水準と、地域の産業構造という2つの問題がある。同じ産業でも、地域によって技術水準には大きな差があ

る。また、地域の一般的な技術水準と水消費原単位には必ずしも関係がない。たとえば、上海市や広東省は一般的な技術水準は高いものの、水資源は豊富なため、北部の北京や天津よりも原単位は大きい。黄河中流域は相対的に工業化の遅れた地域であり、全般的な技術水準は高いとはいえず、陝西省、甘肅省、山西省の原単位は大きい。2001年以降、水利部の指示によって、省・市ごとに水の詳細な利用用途ごとに節水目標（「定額値」）が定められることになった。しかし、既にこの値を決定して公布しているのは上海市など少数である。実際に定額値を決定するためには、個別の業種、個別の工業製品ごとに水使用の実態を把握する必要がある。

農業用水の需要を抑制するには、節水型農業の推進が大きな課題となっている。このため、きめ細かな管理によって、作物に与える水を徹底的に減らす方法が研究されている。全国の耕地面積は横ばいか減少傾向にあるので、生産を増大させるには、単位面積当たりの収穫を大幅に増大させる必要がある。これまでは、機械化、化学肥料・農薬の投入、多毛作・多期作の推進によってこれを達成してきたが、それには限界がある。特に、多毛作・多期作にはより多くの水が必要となる。また、工業用水の場合とは違って、農作物に与えた水の多くは、土壌表面および作物の葉から蒸発散してしまうので、農業用水の再利用は難しい。したがって、作物の生育サイクルあわせて必要最小限の水しか与えないこと、灌漑途中での蒸発を防止することが節水型農業の鍵となる。

(2) 価格政策

価格による水資源需要のコントロールは、現在、水利部を中心に検討されているテーマである。従来、国全体としては、水の供給に必用な費用を利用者からの料金で充当させるという考えはあまり強くなかった。しかし、最近では市場経済化の流れを背景に、価格によって水需要をコントロールしようとする考えが出されている。水の価格をめぐる議論は、農業、工業、都市の各セクターによって異なる。

農業用水の価格は、一般に1 m³当たり0.1元というような低いレベルである。これは、相対的に所得の低い農民の生活に配慮した政策によるものであり、農業用水価格の上昇は政府としても手のつけにくい問題である。貧しい農民にとって、現在の水準でも水費用の負担は決して軽くない。関中平野の灌漑区の一例では、1畝当りの農作物の生産高が700元程度なのに対して、水の費用は30～50元である。しかし、節水の鍵は、現在非常に低く設定されている農業用水価格であり、今後何らかの対応が必要となるだろう。

価格上昇による需要コントロールが進んでいるのが工業用水である。黄河流域の都市の工業用水価格は1～2元/m³が一般的であるが、地域によっては40元/m³というような高い価格（たとえば、山東省の威海市）を付けようとしている例もある。

都市生活用水についても、所得水準の向上とともに、住民の負担能力に応じて料金を上げようという考えが強くなっている。特に、北京、上海などの沿海都市においてそうである。しかし、これも住民の生活に直接影響する問題であるだけに、経済発展が遅れた内陸地域の省・市政府では、住民の負担能力の限界に配慮しつつ慎重な検討を行っている。なお、下水道整備がある程度進んだ都市では、上水道料金に下水道料金を上乗せして水の価格としている。

(3) 水資源配分政策

水需給の逼迫を前に、黄河水利委員会の省横断的調整機能を強化する方向で法律改正等

が検討されている。価格による需要コントロールは、市場による資源の効率的配分という意味では有効な方法である。しかし、水の配分には、地域間、セクター間、所得階層間の公平性という政策判断も必要である。工業部門への配分を優先すれば貧しい農民にしわ寄せが行く。都市と農村の間の所得格差は既にさまざまな社会問題を起こしているが、水消費の面でも両者には既に大きなギャップがある。都市住民の間では水を多く消費する生活スタイルが拡大しており、これは都市富裕層と農村貧困層の間の不公平を拡大しつつある。

上中流と下流の関係調整も難しい課題である。水不足の下流の方が所得レベルは高いという現実を考えると、下流から上中流へ水源保持や水土流出対策のために何らかの所得移転をすべしという議論もあり得る。この調整を省同士の擬似市場的取引によって行うのが効率性と公平性の両方の要請をバランスさせるための1つの有効な手段だという議論もあり、今後の研究テーマの一つとなるだろう。

6.1.4 その他の問題

このような水需給の大きな枠組みの研究と同時に、特定の地域・都市、あるいは工場を取り上げたケーススタディを行い、①水資源の効率的な管理における成功例の提示、②社会環境コストも考慮したコストベネフィット分析に基づく効率的な水資源配分のあり方、③効率性だけでなく公平性の視点も考慮した水資源配分政策のあり方、④流域全体での水資源配分システムのあり方、たとえば、計画的配分と市場（価格メカニズム）の活用を組み合わせた方式、⑤適正な水資源価格のレベルと支払い意思、支払い可能金額、⑥供給量の変化があった場合の経済波及効果といった研究も必要である。これらのテーマは、どれをとっても、これまであまり研究がなされてこなかった課題であり、中国国内の研究者の層もそれほど厚くない。これらの研究を遂行するためには、基礎的なデータの収集からの地道な積み上げと、それを可能にするための研究組織づくりが必要となる。こうしたマイクロ・レベルでの研究を蓄積することで、需給モデルによるマクロ分析の精度も高まることが期待される。

調査の対象地域としては、たとえば、中流域の関中平野（渭河流域）は、古くからの農業地帯である上に人口も多く、西部開発の号令の下に今後工業開発も進むと期待されている地域であり、こうした特徴を有する地域は、水資源問題の調査対象として興味深い。

6.2 今後の研究の方向性

以上の議論を整理すると、今後の研究課題として大きく3つの方向をあげることができよう。第一は、中国全体の今後の経済成長を視野に置きつつ、黄河流域全体およびそれを構成する各地域の水需給問題の将来をより詳細に展望・予測するマクロ的な研究である。第二は、比較的狭い対象地域を選定して、地域の具体的な自然条件、経済社会条件と水資源の関係をより詳細かつマイクロに分析する研究である。そして、第三は、水の配分政策、水価格の設定などの政策に関する研究である。

第一の研究においては、水資源不足という制約条件の下で、黄河流域に属する省や市が今後どのような経済政策をとっていくか、それによって水資源不足がどのように解消ある

いは悪化していくか、もし問題が悪化する場合にはどのような対策が必要かを考察するのが重要なテーマとなる。この作業においては、中国全体の今後の経済成長、人口増大、都市化、技術進歩について適切な前提シナリオを設定し、かつ、これと整合性がとれた形で黄河流域およびそこに属する各省および主要都市の発展シナリオを設定する必要がある。また、農業、工業、生活の各セクターの内容についても一定のシナリオを設定する必要がある。これらは、中国という国全体の政策に関わる問題となる。たとえば、農業については、中国全体の食糧需給の中で黄河流域の農業がどのような位置づけに置かれるか、灌漑面積の拡大がどこまで可能か、節水がどこまで可能かといった問題について、過去のトレンド等から将来シナリオを設定する必要がある。工業については、技術進歩による原単位の改善、産業構造の転換がどこまで進むかが問われる。生活については、豊かさを増した市民、特に都市住民のライフスタイルがどう変化するかがポイントである。これらの多くの設問について正しい数値を設定するのは難しいが、幾つかのシナリオを設定し、各シナリオに応じて水資源需給がどれだけ逼迫するかを検討することになる。

第二の研究方向は、対象地域を比較的狭く限定して、具体的な現状調査、実態把握から出発するものである。第一の研究方向では、公表された統計書等のデータが项目的に必ずしも十分ではない上に、データの信頼性にも不安がある。そういう意味では、この第二の方向からのさまざまな調査データが蓄積されない限り、信頼できるマクロ予測も困難であることを認識しておく必要がある。黄河流域の一部を選定して詳細な調査を行うとすれば、その対象として一番興味深いのは何と言っても西安市を中心とした関中平野、あるいはそれを含む陝西省である。この地域は、黄河中流域にあつて人口も多く、農業、工業も発達しており、西部大開発計画によって今後飛躍的に経済発展が期待されている地域である。また、西安市には大学等の研究機関が多く存在し、水資源関係の研究者層も、不十分ながらもある程度の厚みを持っている。その際、第一の研究方向にも不可欠なデータ収集として、農業、工業、生活の各セクターにおける原単位データの調査が真っ先に必要である。

農業用水については、幾つかの灌漑区を選び、農作物の種類、耕作方法、気温・降雨量・湿度・日照時間・日射量等の気象データと実際の灌漑水量の関係を丹念に調査する必要がある。このためには、灌漑区へのアンケート調査・訪問インタビューによるデータ収集、実験圃場で蓄積された実験データの収集を行う必要がある。

工業用水については、さまざまな種類の業種を選び、工場を選定して製品の生産量、出荷額、生産技術の方式と水の消費原単位を調査する必要がある。工場によっては、上水道から工業用水を取っている場合、自家敷地内の地下水を汲み上げている場合など、色々なケースがあるので、それを区別して調査する必要がある。また、工業水の価格、再生利用率などの調査も必要である。こうした調査は、上海市のような一部の先進的な地域では「用水定額」を設定するための基礎調査として既に行われており、各省政府としてもいざれ実施する必要がある調査である。

生活用水については、家庭を対象に、家族の人数・所得水準・住宅状況と、水道使用量・料金の関係を調査する必要がある。また、ホテル、レストラン、病院、学校等の施設（工場は除く）の水消費実態把握が必要である。この際、水料金（上下水道）についての支払い意思額（Willingness to Pay: WTP）、支払い可能額を把握するための家計調査も併せて行うのが有効である。より先端的な調査方法としては CVM（Contingency Valuation

Method) の利用も考えられる。

これらのデータは、タイプの異なるいくつかの都市（例えば、西安のような中心的大都市とこれより経済発展の遅れた比較対照都市）で収集し、比較分析する必要がある。また、この調査と平行して、対象地域の今後の経済発展のシナリオを設定する。これは、特定の省あるいは市を具体的な対象地域として選んで行うので、流域全体をマクロに分析する場合よりは実施しやすいはずである。反面、現地に密着した調査を行うこと、アンケート調査やインタビューにおける言葉の問題を処理しなければならないことから、現地専門家の協力を得ることが不可欠である。以上のデータ収集とシナリオ設定をベースに、対象地域における今後の農業、工業、生活の変化とともに水需給がどう変化するかを分析する。その際、今後の人口増大と経済発展の結果、水需給が逼迫しそうな都市や地域、セクターを同定し、上下水道の整備、節水型技術の移転の可能性などについて具体的に検討する。

水の需給分析に関するマクロとミクロの2つの大きな方向に加えて、第三の研究方向として、流域全体あるいは個々の地域における水資源の配分、需給調整などの政策（「水資源管理政策」）についての研究も重要である。公共料金としての水の価格については、費用をそのまま価格に転化する“Full Cost Pricing”が世界銀行等によって奨励されているが、中国国内の実情においてそれが社会的にどの程度受容されるかの検討が必要である。この研究は、上記の第二の研究における家計調査をベースに実施可能である。

また、流域全体では、水源である上流・中流域とその恩恵を受ける下流域の問題がある。水の配分には、地域間、セクター間、所得階層間の公平性という政策判断が必要である。工業部門への配分を優先すれば貧しい農民にしわ寄せが行く。都市と農村の間の所得格差は既にさまざまな社会問題を起こしているが、水消費の面でも両者には既に大きなギャップがある。都市住民の間では水を多く消費する生活スタイルが拡大しており、これは都市富裕層と農村貧困層の間の不公平を拡大しつつある。最近、日本の自治体では、上流の水源を護るために下流から税を徴収する方式（たとえば、「水源税」（高知県））が検討されているが、黄河についてもそうしたアイデアが適用可能かもしれない。また、計画に基づく従前からの地域別、セクター別の水資源配分は非効率に陥りがちである。上流では、実際にはそれほど水が必要でないのに既得権として多めに水が配分されている一方で、下流では絶対的に水不足という例がある。このため、水の使用権を市場で売買する方法も考えられる。ただ、早急に市場化することは難しいので、下流の省と上流の省の交渉によって価格を設定し、水の使用権を買うことが考えられる（「擬似的市場」による方法）。また、水資源の合理的管理を行うためのデータベース、GISを利用した流域水資源管理システムの構築も望まれる。これについては、援助機関による技術援助の対象として重要になっている。

参考文献

【和文文献】

- 井村秀文（2001）「中国沿岸部の環境と開発に関する総合的解析システムの開発研究」『平成10～12年度科学研究費補助金基盤研究（B）（2）研究成果報告書』
- 越智士郎、柴崎亮介（1998）「1KM DEMを用いたグローバル流域データセットの作成と水資源モデルの開発」『土木学会第6回地球環境シンポジウム講演論文集』
- 金子慎治、三枝裕司、松本亨、井村秀文（1998）「中国の長期的水需要予測」『土木学会第6回地球環境シンポジウム講演論文集』
- 金子慎治、三枝裕司、陳晋、井村秀文（1998）「黄河流域の水資源需給に関する基礎的研究」『環境システム研究』Vol.28
- 榎根勇（1989）「水と気象」朝倉書店
- 国際協力事業団（2002）「節水かんがいの普及・推進をはかるために～JICAと水利部の取り組み～」パンフレット
- 三枝裕司、金子慎治、陳晋、井村秀文（1999）「中国黄河の流域水資源管理の課題」『環境システム研究』Vol.27
- 海外経済協力基金（OECD）開発援助研究所（1995）『中国の食糧需給見通しと農業開発政策への提言』OECD Discussion Papers No.6
- 長瀬誠（2002）「深刻化する水資源問題」小林熙直編著『チャイナリスクを検証する＝中国経済発展の制約要因』ジェトロ

【英文文献】

- Asian Development Bank (2001). "Report and Recommendation of the President to the Board of Directors on A Proposed Loan and Technical Assistance Grant to the People's Republic of China for the Yellow River Flood Management (Sector) Project".
- Brown Lester (1995). *Who Will Feed China: Wake-up Call For A Small Planet*, World Watch Institute.
- Horton J T, Ding Y, Griggs D J, Noguera M, Van der Linden P J and Xiaosu D (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge University Press.
- Kaneko Shinji, Mieda Yuji, Imura Hidefumi (1999). "Study on the water demand and supply in China based on business as usual scenarios", *Journal of Global Environmental Engineering* Vol.5, pp139-154
- Office of the National Ecological Agriculture: Leading Group (1999). *Chinese Ecological Agriculture and Intensive Farming System*, China Environmental Science Press.
- Renshou Fu, Yi Qian and Shoemaker Christine A (1995). *Groundwater Contamination and Its Control*, Tsinghua University Press.
- The World Bank, Sinclair Knight Merz and Egis Consulting Australia, the General

Institute of Water Resources & Hydropower Planning and Design (2001). *China Agenda for Water Sector Strategy for North China* Vol.1

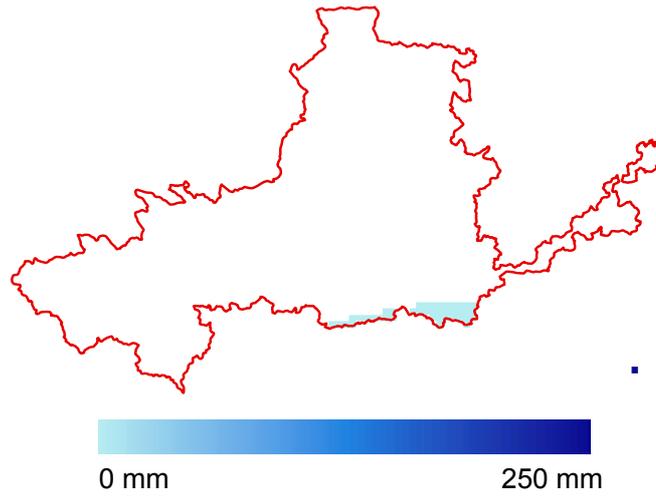
【中文文献】

- 魏昌林編 (2000)「中国南水北調」中国農業出版社
- 国家環境保護局自然保護司 (1997)「黄河断流與流域可持續發展—黄河断流生態環境影響及对策檢討会論文集」中国環境科学出版社
- 国家環境保護總局 (2000)「“三河”“三湖”水污染防治計劃」中国環境科学出版社
- 国家統計局農村社会經濟調查總隊 (1991)「中国分県農村經濟統計概要」中国統計出版社
- 国家統計局国名經濟綜合統計司 (1999)「新中国五十年統計資料集編」中国統計出版社
- 常炳炎他 (1998)「黄河流域水資源合理分配和優先調度」黄河水利出版社
- 水利電力部水利水電規画設計院 (1989)「中国水資源利用」中国水利水電出版社
- 水利部黄河水利委员会 (1998)「黄河年鑑 1998」黄河年鑑社
- 水利部南京水文水資源研究所・中国水利水電科学研究院水資源研究所 (1998)「21 世紀中国水供求」中国水利水電出版社
- 全国政協人口資源環境委员会 (2000)「西部大開發及水資源文集」中国水利水電出版社
- 中華人民共和国国家統計局 (2001)「中国統計年鑑 2001」中国統計出版社
- 中華人民共和国水利部 (1997)「中国水資源公報」
- _____ (1998)「中国水資源公報」
- _____ (1999)「中国水資源公報」
- _____ (2000)「中国水資源公報」
- 中国水利社編 (2000)「中国黄河」中国科学技术出版社
- 錢正英、張光斗他 (2001)「中国可持續發展水資源戰略研究報告集」Vol.1~9 中国水利水電出版社
- 陳效国 (1998)「黄河下流断流狀況及对策」私信
- 沈振榮他 (2000)「節水新概念—真實節水的研究與应用」中国水利水電出版社
- 林一山 (2001)「中国西部南水北調工程」中国水利水電出版社
- 劉昌明他 (2001)「中国 21 世紀水資源方略」科学出版社
- 中国水利年鑑編纂委员会編 (2001)「中国水利年鑑 2000」中国水利水電出版社
- 中国政府 (1994)「中国 21 世紀議程」中国環境科学出版社

付録

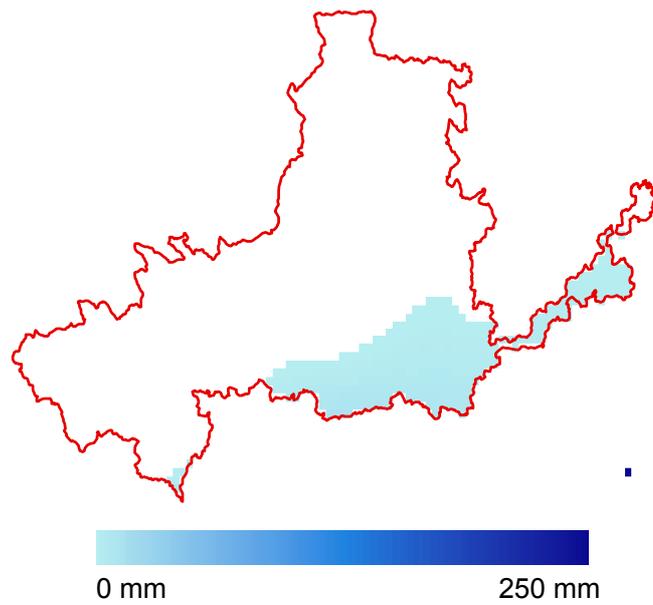
付録 1 月別蒸発散量の推計結果

図表 A 1 蒸発散量 1 月



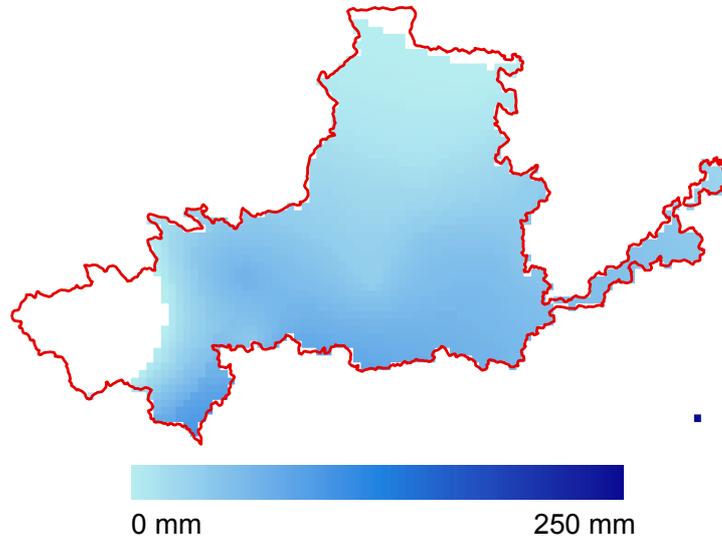
出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 A 2 蒸発散量 2 月



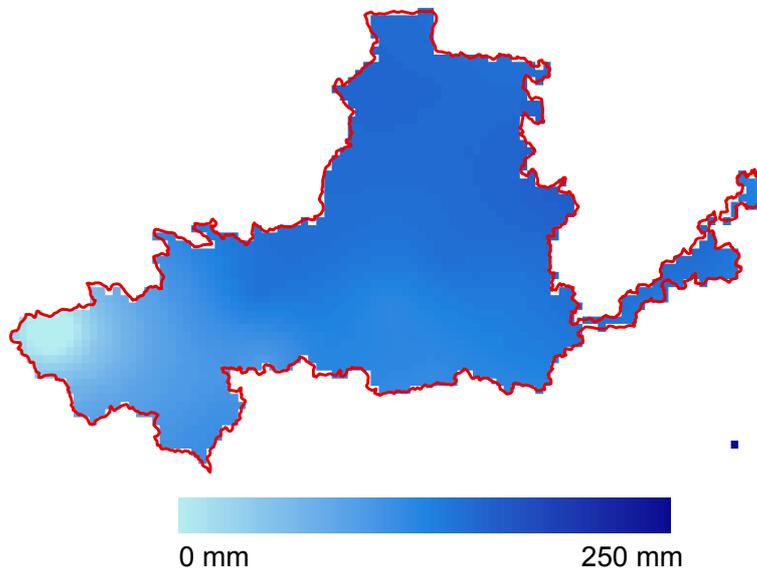
出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 A3 蒸発散量 3 月



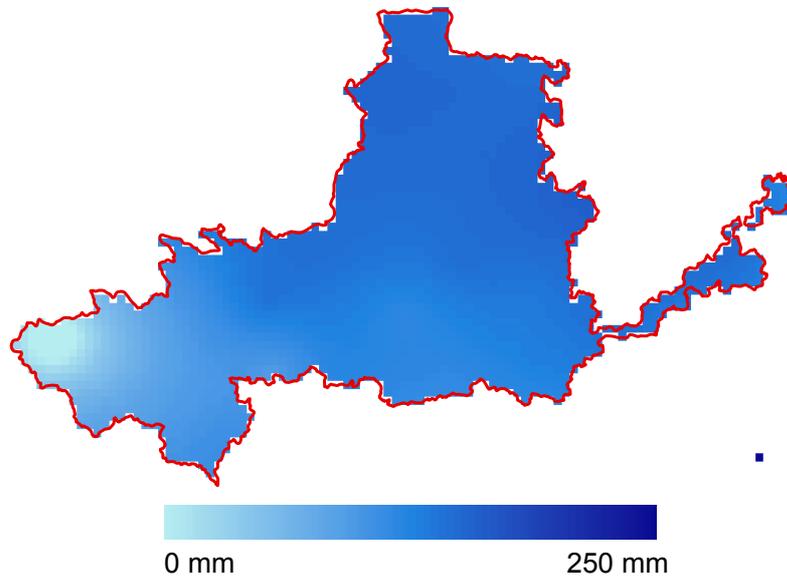
出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 A4 蒸発散量 4 月



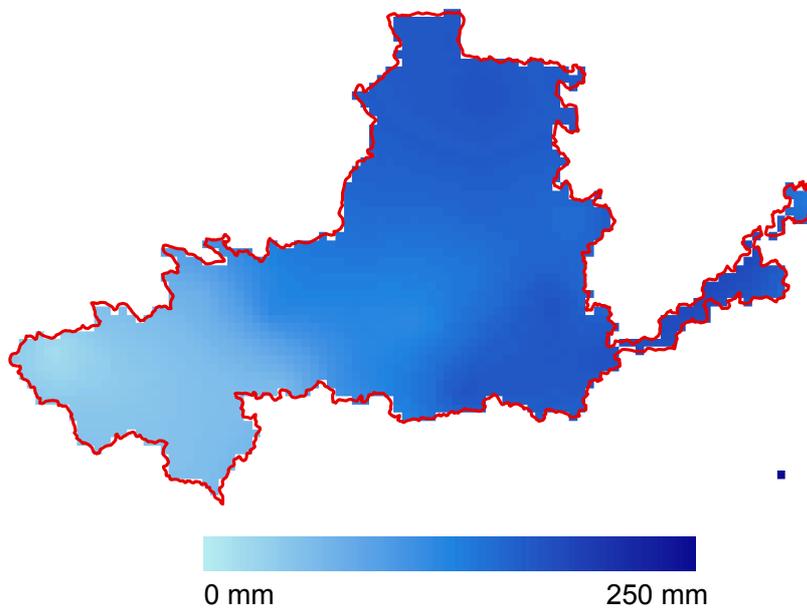
出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 A5 蒸発散量 5 月



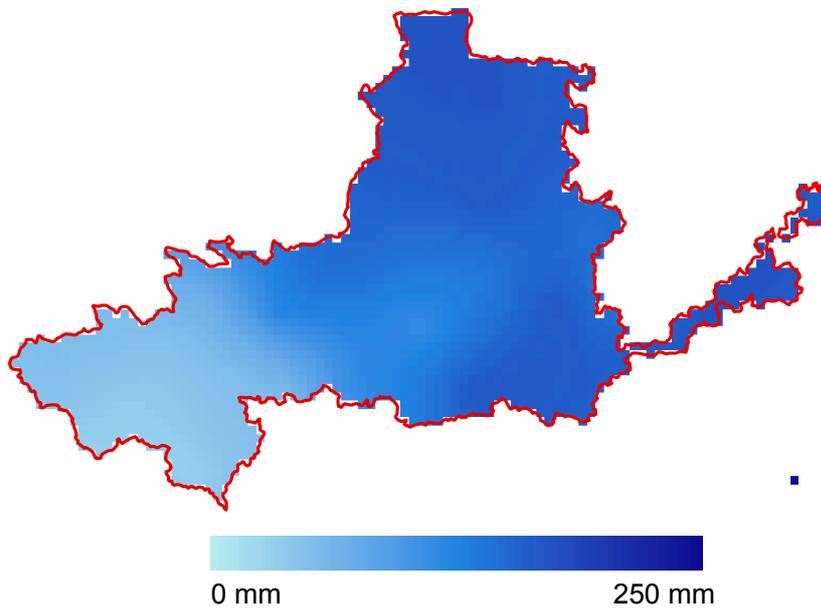
出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 A6 蒸発散量 6 月



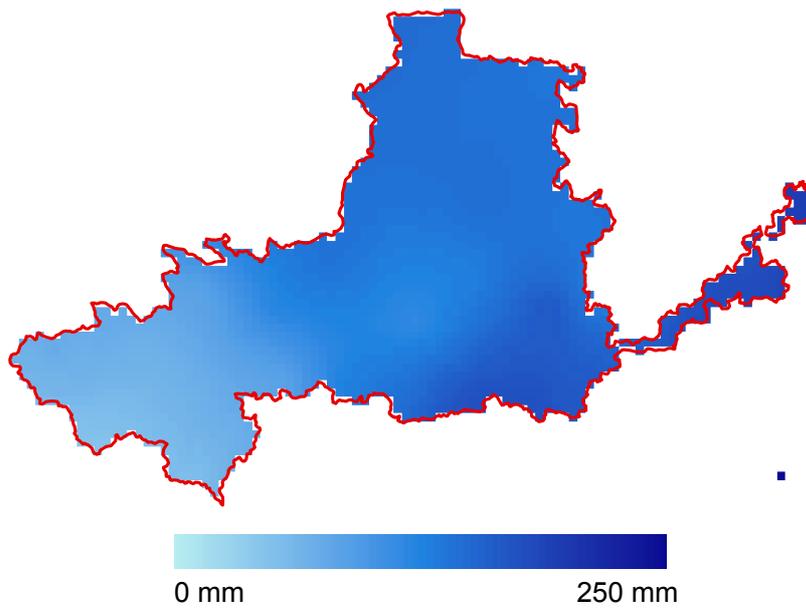
出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 A 7 蒸発散量 7 月



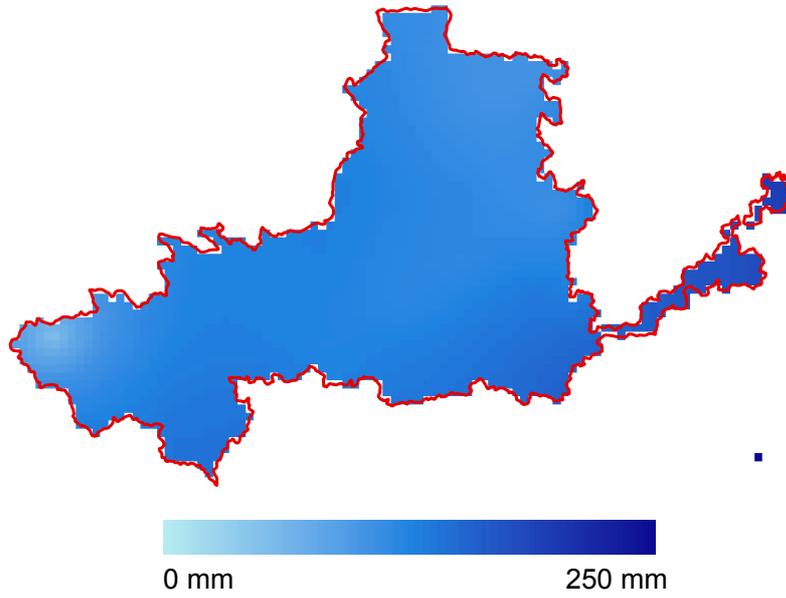
出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 A 8 蒸発散量 8 月



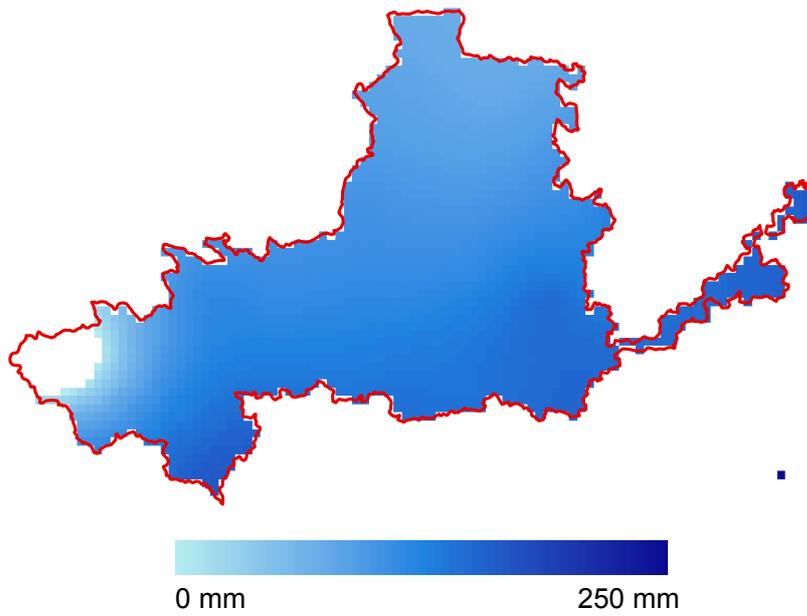
出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 A 9 蒸発散量 9 月



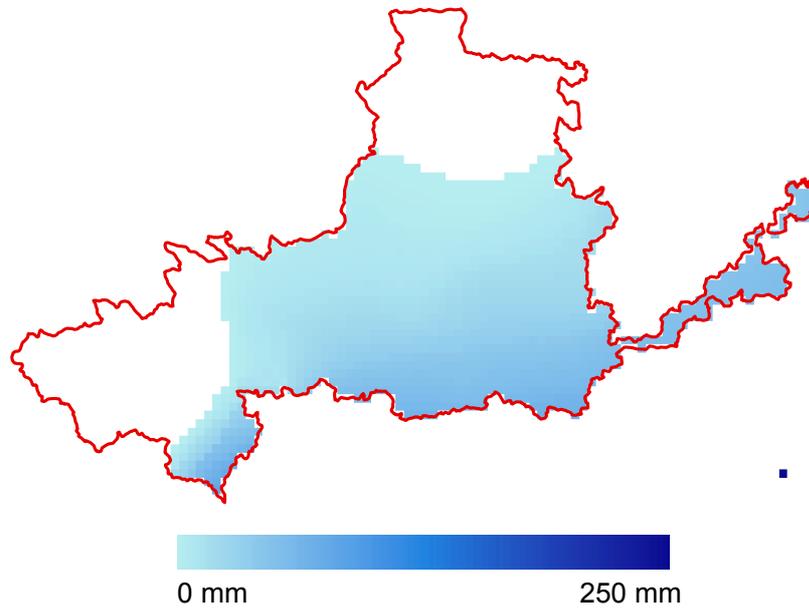
出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 A 10 蒸発散量 10 月



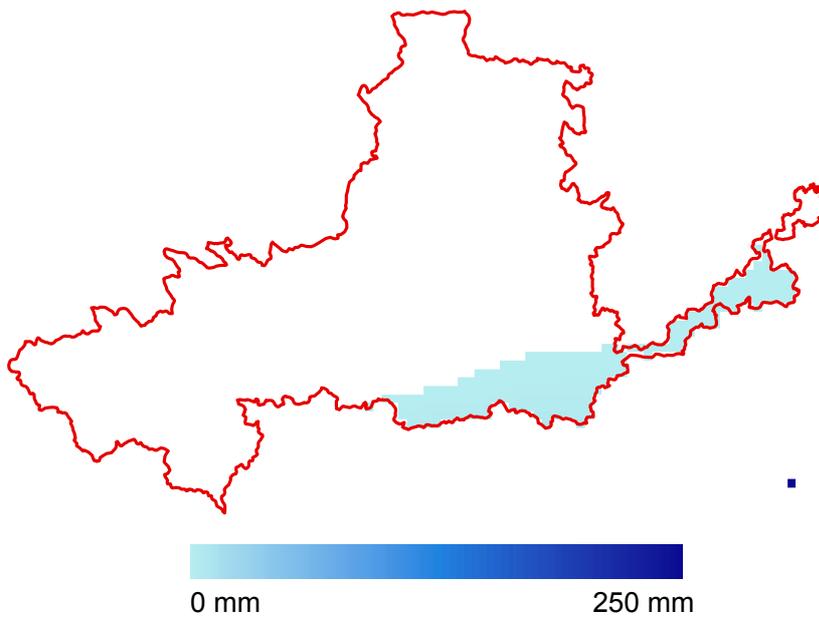
出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 A 11 蒸発散量 11 月



出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 A 12 蒸発散量 12 月



出所：名古屋大学井村研究室作成

付録2 経済成長のマクロフレームの設定方法

本文中で示した黄河流域の省別 GDP 予測値と人口予測値より、黄河流域の省別 1 人あたり GDP を算出した。

$$GDP/cap(t)_i = GDP(t)_i / 人口(t)_i$$

この値より、黄河流域の省別 1 人あたり GDP 成長率を算出した。

$$GDP/cap_i \text{成長率}(t) = \frac{GDP/cap(t+1)_i}{GDP/cap(t)_i} - 1$$

以上のようにして得られた黄河流域の省別 1 人あたり GDP 成長率を、省内一定と仮定して市県別の 1 人あたり GDP を算出した。

$$GDP/cap(t+1)_j = GDP/cap_i \text{成長率}(t) \times GDP/cap(t)_j$$

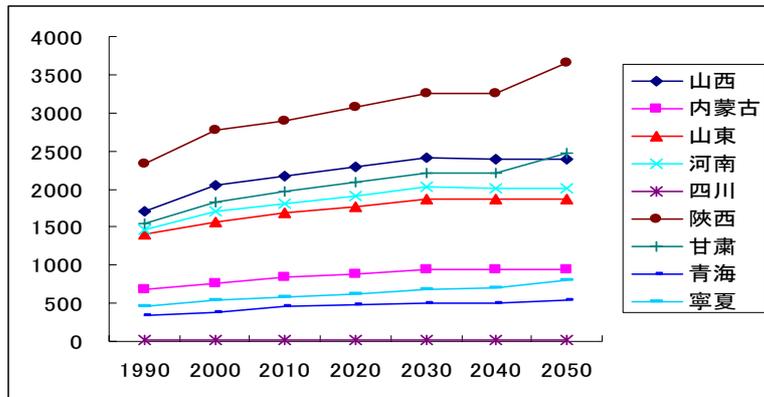
市県別の 1 人あたり GDP と人口予測値より GDP を決定した。

$$GDP(t)_j = GDP/cap(t)_j \times 人口(t)_j$$

付録3 付録データ

図表 A 13 Population

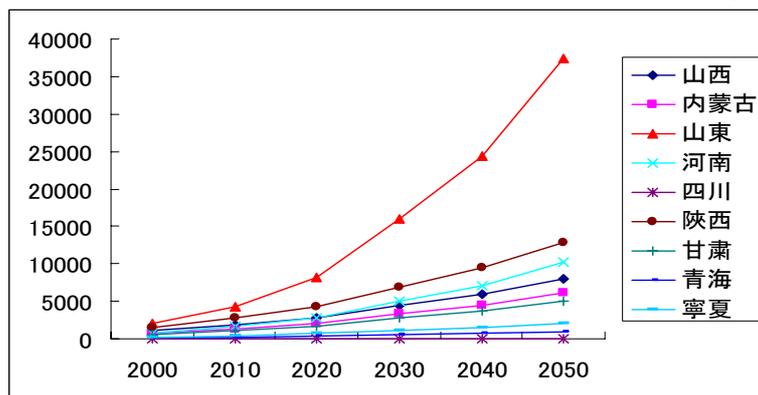
(万人)



出所：図表 5-4 に同じ

図表 A 14 GDP

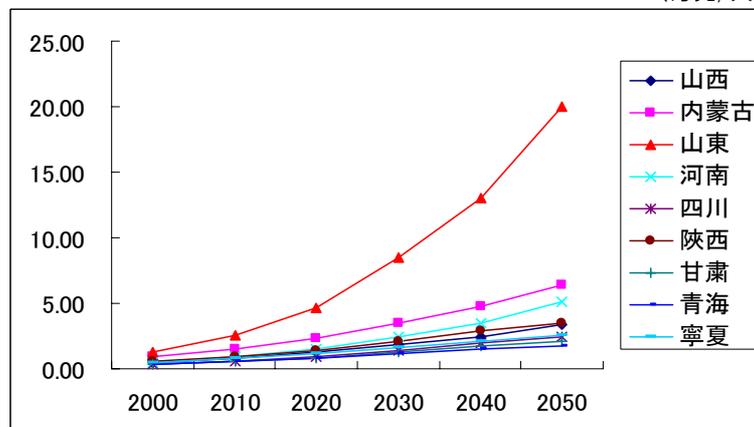
(億元)



出所：図表 5-4 に同じ

図表 A 15 1人当たり GDP

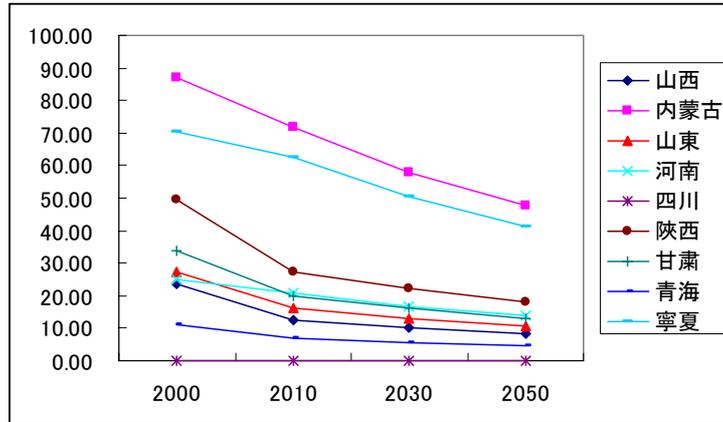
(万元/人)



出所：図表 5-4 に同じ

図表 A 16 灌漑用水（節水型農業：大灌漑面積）

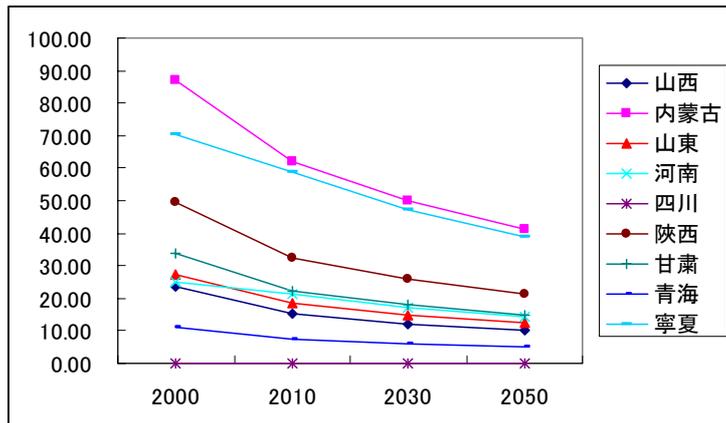
(億 m³)



出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 A 17 灌漑用水（節水型農業：小灌漑面積）

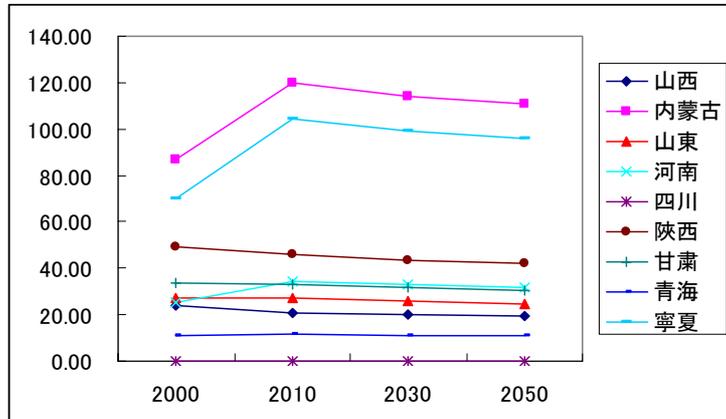
(億 m³)



出所：名古屋大学井村研究室作成

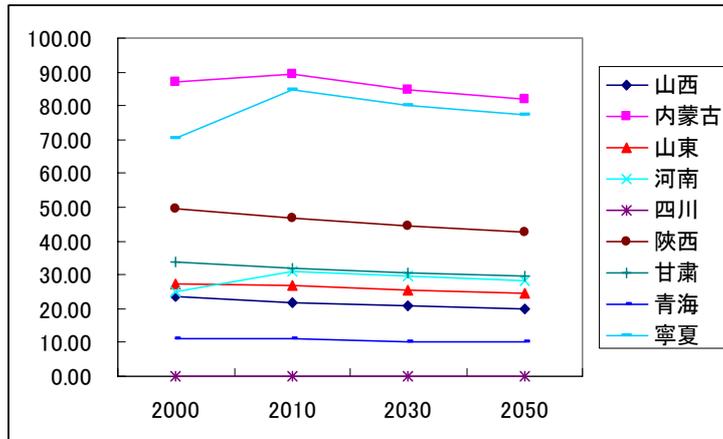
図表 A 18 灌漑用水（自然体型農業：大灌漑面積-シナリオ 1）

(億 m³)



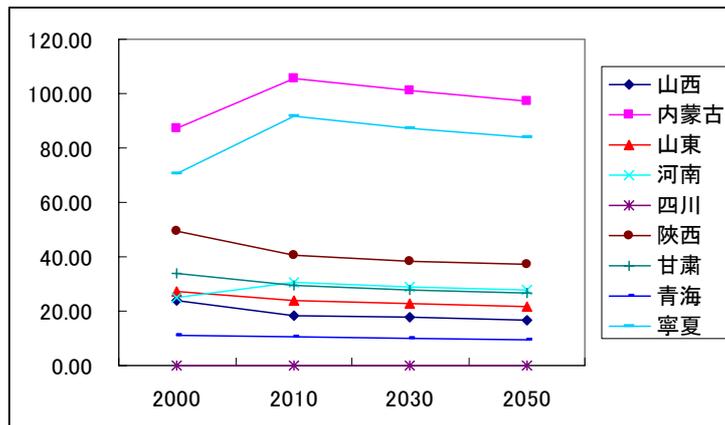
出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 A 19 灌漑用水（自然体型農業：小灌漑面積-シナリオ 2）
（億 m³）



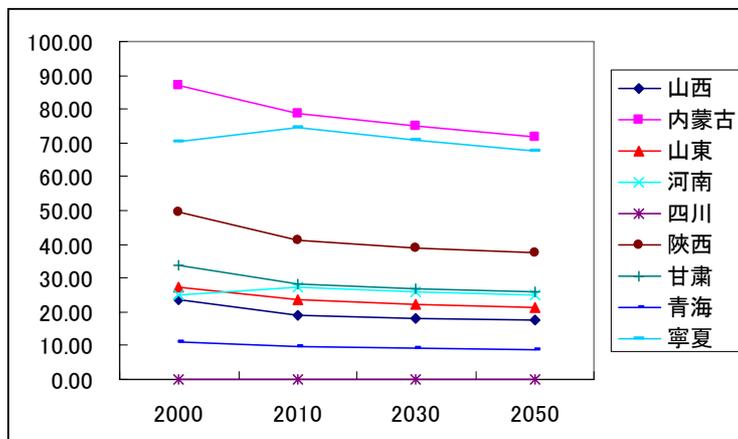
出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 A 20 灌漑用水（自然体型農業：大灌漑面積-シナリオ 3）
（億 m³）



出所：名古屋大学井村研究室作成

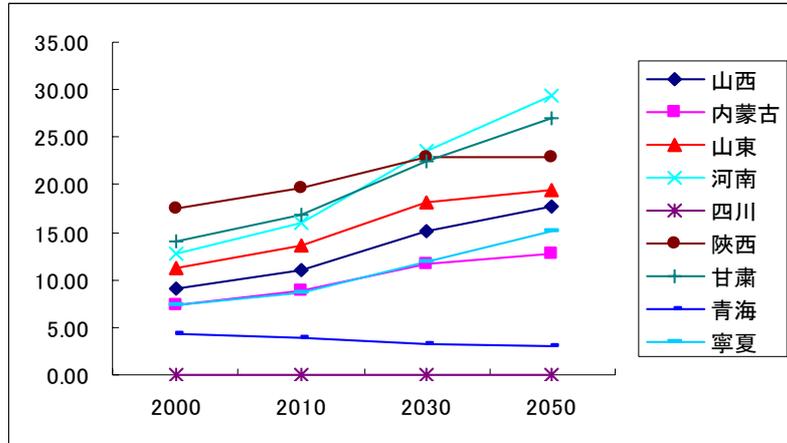
図表 A 21 灌漑用水（自然体型農業：小灌漑面積-シナリオ 4）
（億 m³）



出所：名古屋大学井村研究室作成

图表 A 22 工業用水量

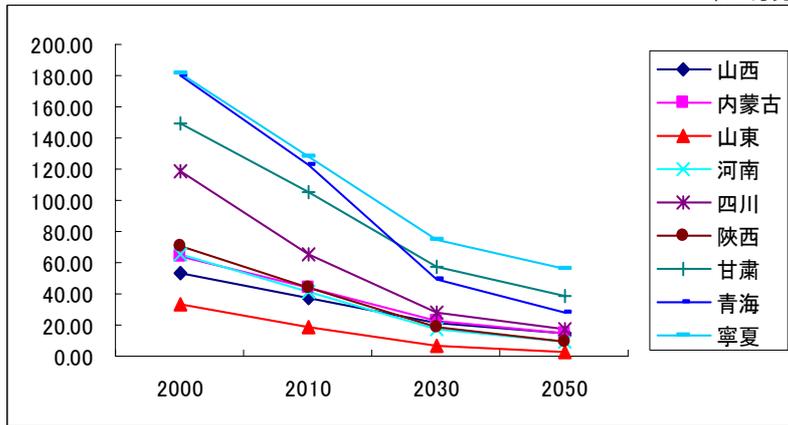
(億 m³)



出所：名古屋大学井村研究室作成

图表 A 23 工業用水原单位

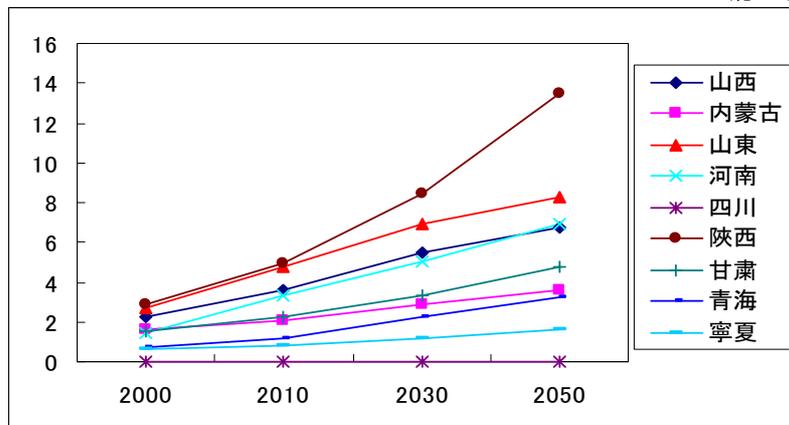
(m³/万元)



出所：名古屋大学井村研究室作成

图表 A 24 都市用水量

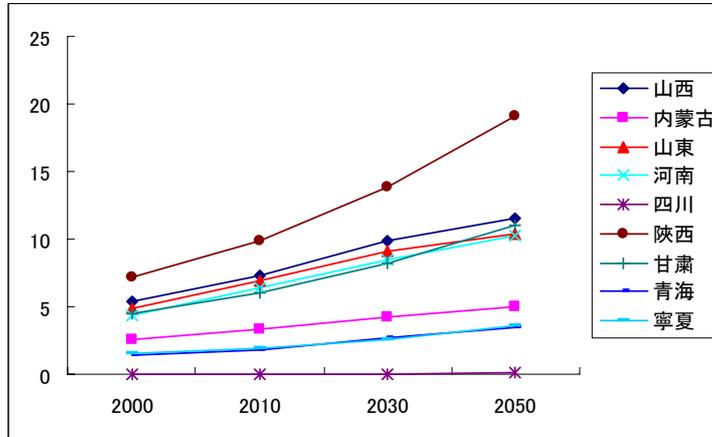
(億 m³)



出所：名古屋大学井村研究室作成

图表 A 25 用水人口生活用水需要量

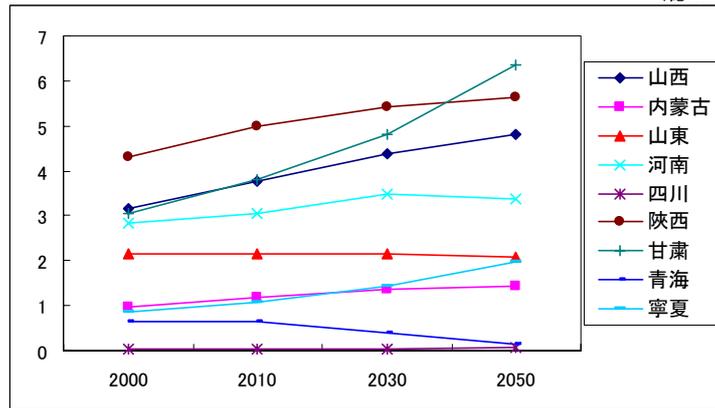
(億 m³)



出所：名古屋大学井村研究室作成

图表 A 26 非用水人口生活用水需要量

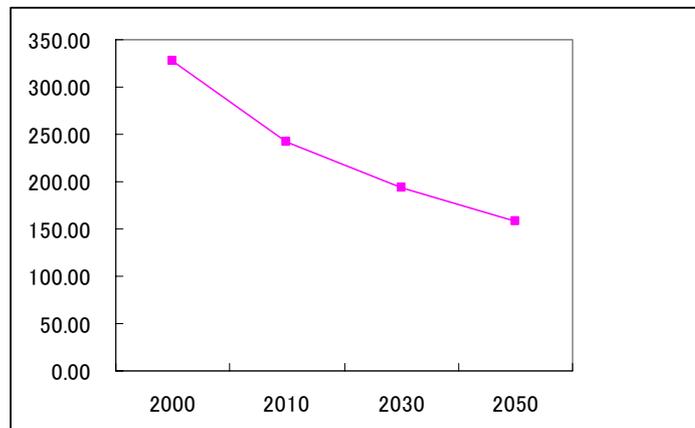
(億 m³)



出所：名古屋大学井村研究室作成

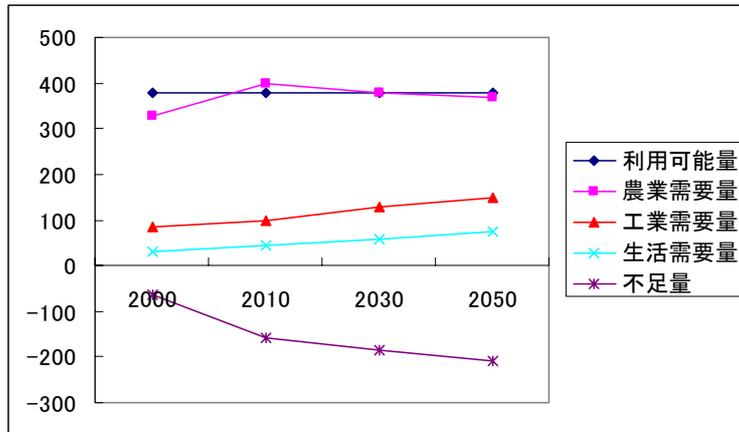
图表 A 27 農業利用可能量

(億 m³)



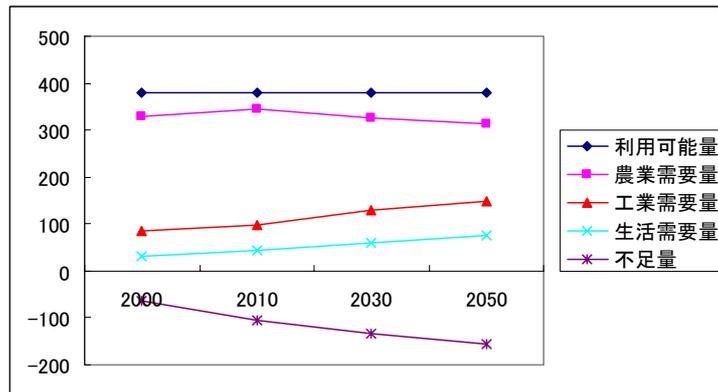
出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 A 28 用水量および水資源不足量（農業用水：自然体型農業-大灌漑面積-シナリオ 1）
（億 m³）



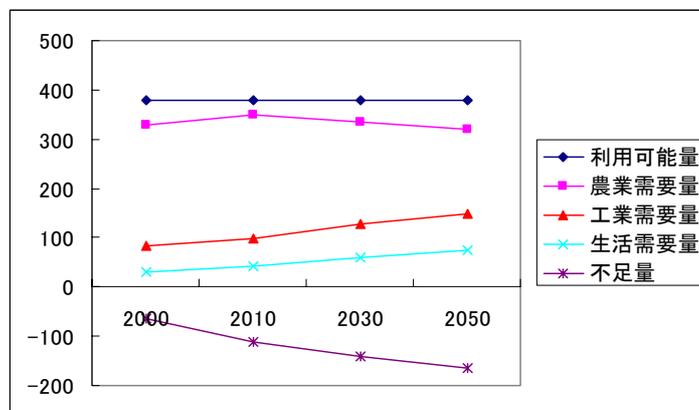
出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 A 29 用水量および水資源不足量（農業用水：自然体型農業-小灌漑面積-シナリオ 2）
（億 m³）



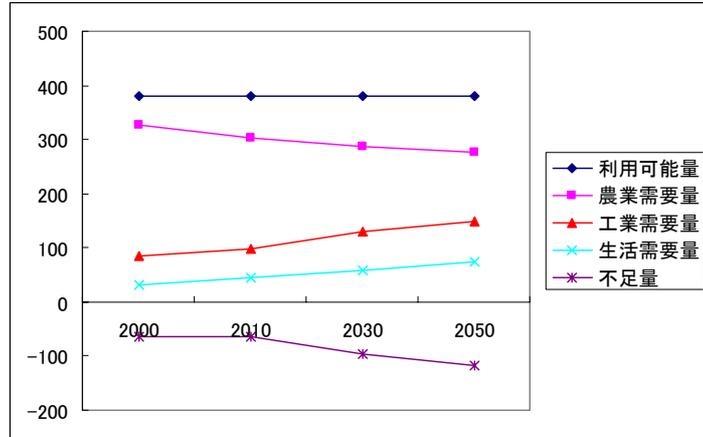
出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 A 30 用水量および水資源不足量（農業用水：自然体型農業-大灌漑面積-シナリオ 3）
（億 m³）



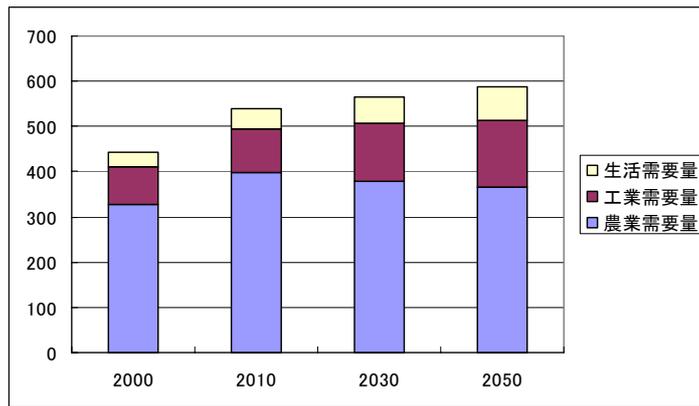
出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 A 31 用水量および水資源不足量（農業用水：自然体型農業-小灌漑面積-シナリオ 4）
（億 m³）



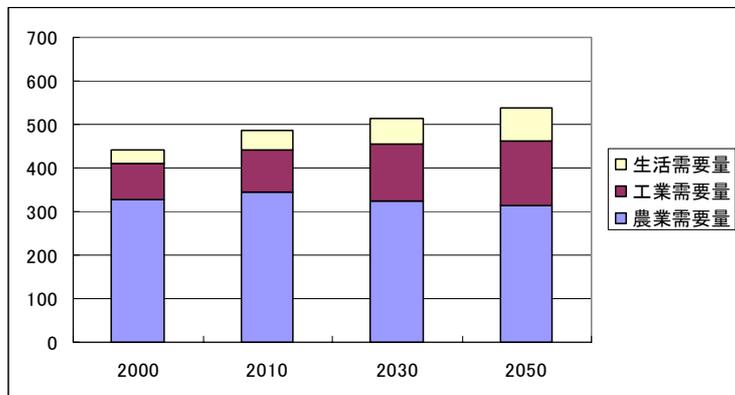
出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 A 32 用水量（農業用水：自然体型農業-大灌漑面積-シナリオ 1）
（億 m³）



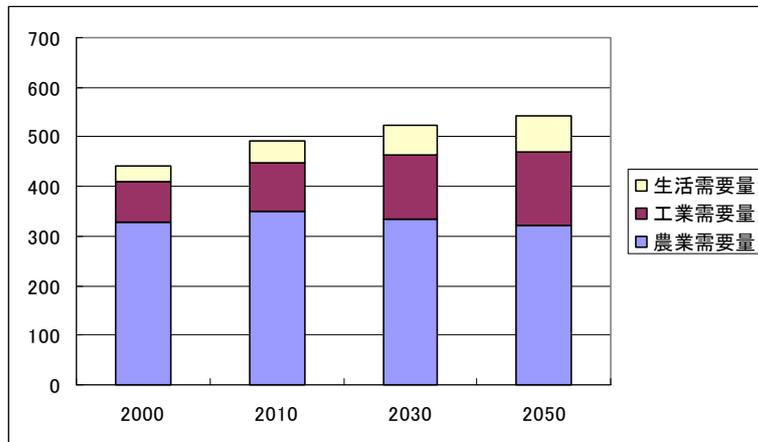
出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 A 33 用水量（農業用水：自然体型農業-小灌漑面積-シナリオ 2）
（億 m³）



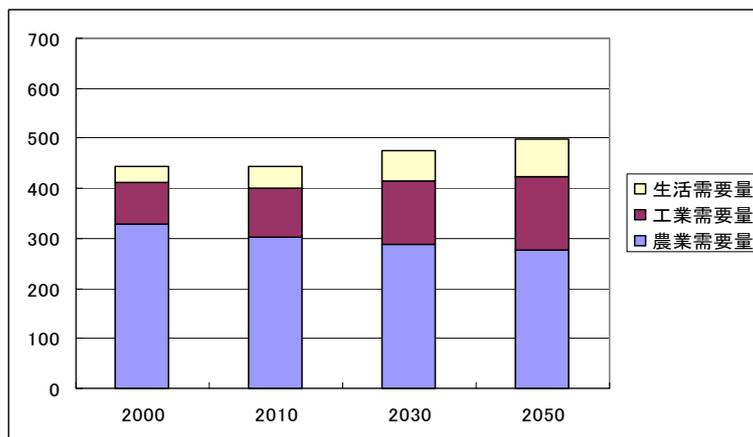
出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 A 34 用水量（農業用水：自然体型農業-大灌漑面積-シナリオ 3）
 （億 m³）



出所：名古屋大学井村研究室作成

図表 A 35 用水量（農業用水：自然体型農業-小灌漑面積-シナリオ 4）
 （億 m³）



出所：名古屋大学井村研究室作成

補 論

中国の産業立地と北部水資源問題

(インハウス調査)

開発金融研究所
開発政策支援班

専門調査員 藤井 あゆみ

はじめに：本調査の背景と問題意識

海河・黄河流域を中心とする中国北部では、水資源不足が深刻化している。北部はもとも水資源に乏しい地域であるが、近年の急速な工業化や人口増加による工業・生活用水の使用量増加で水需給の逼迫が著しい。97年に起きた大規模な黄河断流は水不足を象徴する出来事となった。水資源不足問題は、自然条件、水資源政策、社会構造の変化に伴う需要構造の変化など、様々な要因と関わりを持つため、その解決方法を提示するためには、広範囲かつ詳細な分析が必要である。深刻化する水資源問題に関し、中国工程院は全9巻に及ぶ包括的な研究報告書を作成、世界銀行も海河、黄河、淮河を対象に水資源問題についての研究を行っている。さらに、国際協力銀行 開発金融研究所では、平成13～14年度にかけて開発政策・事業支援調査（SADEP）により「中国北部水資源の実情と課題」と題する調査を実施した。同調査は、特に黄河流域に焦点をあてた水資源問題についての分析を行なっている。いずれの研究も供給、需要の両面から定量的に水資源問題を分析、2050年までの水需要を3つのセクター（農業、工業、生活用水）に分けて予測、将来的に水不足はより深刻になると報告している。

このような既存の研究を踏まえ、本補論では、需要増加の著しい工業用水に焦点を絞り、水資源分布に適さない産業立地が北部地域での水需給逼迫をより深刻化させているという側面について検討する。中国の産業・経済は、改革開放期を経て大きく変わりつつあるが、同時に経済発展は、水資源や環境に大きな負荷を与えている。こうした問題を回避するには、地域特性を踏まえた産業立地と生産システムの構築が必要となるだろう。

本補論では、まず、第一章で中国の水需給の現状とその特徴を整理する。次に第二章で、鉄鋼、化学、紙パルプ、繊維など水多消費型産業の立地と水資源の分布とは必ずしも一致しないことを確認し、物流インフラの整備状況、軍事・産業政策、水価格政策との関連性について検討する。第三章では、日本と中国の水使用原単位を比較し、さらなる節水・リサイクルの可能性について考える。

目 次

要約	補論 3
第 1 章 中国における水需給の現状	補論 5
1.1 水資源分布の現状と特徴	補論 5
1.2 用途別水使用量の推移	補論 9
1.3 深刻化する水環境問題	補論 10
第 2 章 中国の産業立地と水資源分布	補論 13
2.1 産業立地と水資源分布	補論 13
2.2 産業立地の要因分析	補論 17
2.2.1 国土条件と物流インフラの未整備	補論 17
2.2.2 軍事・産業政策の影響	補論 19
2.2.3 水価格政策	補論 23
第 3 章 水のリサイクルと節水技術の向上	補論 25
3.1 水使用原単位とリサイクル・節水の現状	補論 25
3.2 日本との比較－節水対策の可能性	補論 28
3.3 下水道整備の必要性	補論 31
おわりに	補論 32
参考文献	補論 33

要 約

1. 中国の水資源量はほぼ同じ国土面積を持つカナダに近い $2,812\text{km}^3$ と世界でもトップクラスである。しかし、一人当たりの水資源量はカナダの 40 分の 1、世界平均の 3 分の 1 程度である。さらに、広大な国土を持つ中国の降水量、水資源分布は不均一である。降水量は沿岸部で多く、内陸部に向かうに従って減少する。また、北部で少なく、南部で多い。北部地域の多くでは、一人当たり「水資源総量」（中国水利部データに基づく）が $1,000\text{m}^3$ /年のラインを下回り、主要河川の流量も大きくないことから、特に、下流地域では深刻な水不足に陥っている。
2. 利用可能な水資源量が限られるなか、急速な経済発展に伴い水使用量は増加を続けている。使用量の約 7 割を占める農業用水の使用量はほぼ横ばいであるが、工業用水・生活用水の伸びが著しい。80～90 年代にかけては工業用水の使用量が増加し、90 年代に入ると生活用水の使用量が増加した。今後は、都市部での生活用水が需要の牽引役となると考えられる。中国工程院の予測によると、97 年に $5,566$ 億 m^3 だった水使用量は 2050 年には、 $7,319$ 億 m^3 にまで増加する。
3. 水使用量の増加に伴い、環境悪化の進行も懸念される。北部地域では、過剰な地下水の汲み上げによる地下水位の低下が著しく、工場廃水による重金属や有害物質の増加、生活廃水の増加による河川の富栄養化も進んでいる。流域別にみると、遼河、海河、淮河での汚染が深刻である。さらに、都市部では地下水の汚染も進行している。
4. 水資源不足を解決するには、域外からの供給量を増加させることが考えられるが、水資源は他の天然資源と違い、長距離の輸送に適さず、輸出入が難しい。このため、製造コストや環境負荷の最小化を重視するならば、できる限り水資源分布を考慮に入れた産業立地が望ましい。しかし、現状では中国の主要産業立地と水資源分布の相関関係は低く、むしろ、水資源の乏しい北部地域で鉄鋼、製紙、紡績など水多消費型の産業が発達している。さらに、各省がそれぞれ軽工業から重化学工業までフルセット型の産業構造を有していることが多く、こうした産業立地が北部の水資源不足を深刻化させていると考えられる。
5. 分散型の産業立地が発達した背景には、国土が広大であること、物流インフラが未整備であることに加え、毛沢東時代以来の産業政策の影響や、「戸籍登記条例」により、労働力移動が制限され、労働市場が統一されていないこと、地域保護主義の台頭による市場の分断といった要因があげられる。このため、主要産業は、製造コストの最小化を実現するという産業立地の原則に沿って発達せず、結果として主要原料の一つである水資源のコストや希少性についても十分に考慮されることのない産業分布が形成されていった。さらに、水価格が政策的に低く押さえられていたことも水資源分布と産業立地の相関関係を低くする要因になっている。

6. 92年の南巡講話以降、鄧小平の改革開放路線は再び加速することになり、産業立地についても新しい考え方が導入され始めた。各地域の条件にあった経済発展が重視されるようになり、沿岸部は著しい経済発展を遂げるようになった。さらに、環境汚染防止のため小規模な郷鎮企業は閉鎖されるなど、一部で産業再編が進み始めている。しかし、急速な経済成長により北部での水需給は逼迫しており、今後、水資源の分布に応じた産業の再配置が必要とされる。特に、改革・開放以降も効率化が遅れている鉄鋼、製紙、紡績など伝統的な水多消費型産業の再配置が大きな課題となる。
7. 既存産業の再配置を行なうことは、一時的に失業者の増加を招くなど社会不安の増大につながる恐れがあるため、容易なことではない。また、産業の再配置には時間がかかることが予想されるため、節水・リサイクルを同時に促進させる必要がある。水資源の豊富な日本と比べても中国の水使用原単位（水使用量／工業生産額）は高く、節水技術の導入やリサイクル率の向上が可能であろう。水価格メカニズムや税制上の優遇措置の導入も節水対策の一つとして、今後検討すべき課題の一つである。さらに、下水処理施設を整備することで河川を生かした自然のリサイクルが行なわれる環境を整える必要がある。
8. 中国政府は長江の水を北部に導水する「南水北調」プロジェクトの実施を決定し、2002年にはその基本計画が承認された。同事業が実施されれば、北部地域への供水量は大幅に増加する。しかし、環境にも多大な影響を与える大規模な計画を実施する前提として、既存の産業再配置、節水技術の導入と設備更新、水価格メカニズムによる需要コントロール、下水処理施設の整備といった細かな対策を引き続き講じていくことが必要となるだろう。

第 1 章 中国における水需給の現状

1.1 水資源分布の現状と特徴

中国の年平均降水量は 660mm、総降水量に換算して 6,334 億 m³/年になる。降水量から蒸発散量を差し引いた水資源量（人間が最大限利用可能な量）は、2,812km³/年、中国とほぼ同じ国土面積を持つカナダの水資源量とほぼ同じである。しかし、中国の人口は 12 億人を越すため、1 人当たりの降水総量は 4,958m³/年とカナダの約 30 分の 1、世界平均の約 4 分の 1 に留まる。1 人当たり水資源量は 2,201m³/年とカナダの約 40 分の 1、世界平均の約 3 分の 1 である。中国では乾燥地帯が多いため、蒸発散量が多く、降水量と比べ、使用可能な水資源が限られている。1 人当たり水資源量が 1,700m³/年を下回ると周期的に水不足が発生し、1,000m³/年を下回ると、極めて深刻な水不足問題が発生することが知られているが¹、平均的にみれば、中国はこの水準を上回っている。

図表 1 世界の水資源量

国名	人口 (万人)	面積 (千 km ²)	年降水量 (mm/年)	年降水総量 (億 m ³ /年)	人口一人当たり 年降水総量 (m ³ /年・人)	水資源量 (km ³ /年)	人口一人当たり水 資源量 (m ³ /年・人)
カナダ	3,115	9,971	522	5,205	167.095	2,740	87.970
ニュージーランド	386	271	2,010	544	140.801	327	84.671
スウェーデン	891	450	700	315	35.351	178	19.978
オーストラリア	1,889	7,741	460	3,561	188.550	352	18.638
インドネシア	21,211	1,905	2,620	4,990	23.526	2,838	13.380
アメリカ合衆国	27,836	9,364	760	7,116	25.565	2,460	8.838
世界	605.505	135.641	973	131.979	21.796	42.650	7.044
オーストリア	821	84	1,191	100	12.164	55	6.698
フィリピン	7,597	300	2,360	708	9.320	479	6.305
スイス	739	41	1,470	61	8.217	40	5.416
タイ	6,140	513	1,420	729	11.867	210	3.420
日本	12,693	378	1,718	649	5.114	424	3.337
フランス	5,908	552	750	414	7.001	180	3.047
スペイン	3,963	506	600	304	7.661	112	2.821
イタリア	5,730	301	1,000	301	5.258	161	2.804
イギリス	5,883	244	1,064	260	4.415	145	2.465
中国	127,756	9,597	660	6,334	4.958	2,812	2.201
ルーマニア	2,233	238	700	167	7.474	37	1.657
イラン	6,770	1,633	250	408	6.031	129	1.898
インド	101,366	3,288	1,170	3,846	3.795	1,261	1.244
サウジアラビア	2,161	2,150	100	215	9.949	2	1.11
エジプト	6,847	1,001	65	65	951	2	34

- 原注：1) 日本の降水量は昭和 46 年～平成 12 年の平均値である。世界および各国の降水量は 1977 年開催の国連水会議における資料による。
- 2) 日本の人口は国勢調査（平成 12 年）による。世界の人口は United Nations World Population Prospects, The 1998 Revision における 2000 年推計値。
- 3) 日本の水資源量は、平均水資源賦存量（4,235 億 m³/年）を用いた。平均水資源賦存量は、降水量から蒸発散によって失われる水量を引いたものに面積を乗じた値の平均を昭和 46 から平成 12 年までの 30 年間について地域別に集計した値。世界および各国については、World Resources 2000-2001(World Resources Institute)の水資源量(Annual Internal Renewable Water Resources)による。

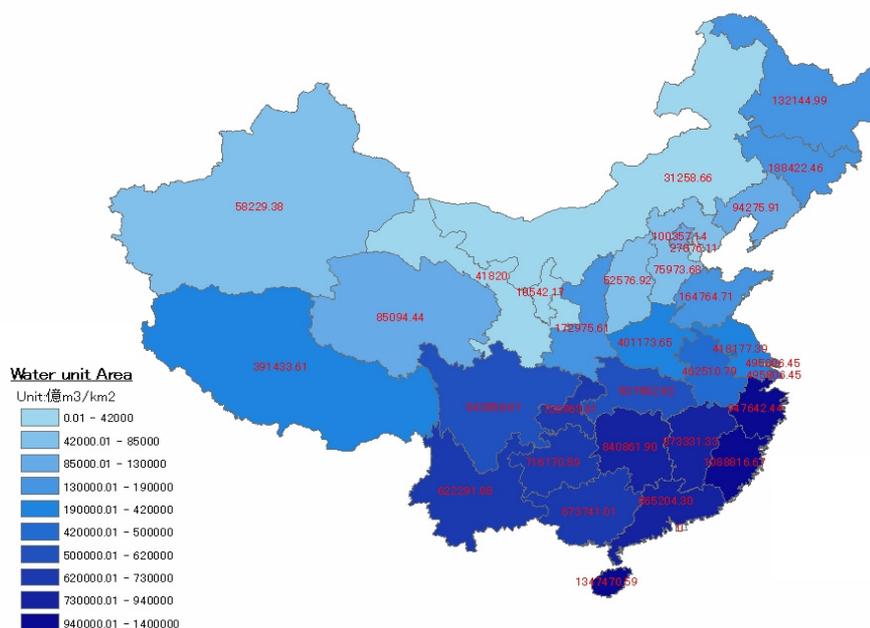
出所：環境省、国土交通省、厚生労働省、農林水産省、経済産業省「健全な水循環系構築にむけて」
(<http://www.mlit.go.jp/tochimizushigen/mizsei/junkan/index-4/11/11-1.html>)

¹ 村上雅博「水の世紀－貧困と紛争の平和的解決に向けて」日本評論社

広大な国土を持つ中国の降水量、水資源分布は不均一である。2000年の東部地域の平均降水量は1,093mm、中部地域は918mm、西部地域は491mmとなっており、沿岸部で多く、内陸部に向かうに従って降水量が減少する。さらに、北部で少なく南部で多い傾向が見られる。また、降水量の季節ごとの変動幅が大きい。降雨は夏季に多く集中し、南部では5月から10月に集中して雨季が長く、北部では7、8月に集中して雨季が短い。降水量は多い年と少ない年があり、年による変化も非常に大きい。

中華人民共和国水利部によれば、2000年の「水資源総量²⁾」は27,701億m³であった(以下、水利部統計による)。最も多いチベット自治区で4,775.49億m³、最も少ない天津市では3.15億m³であった。これを1km²当たりの水資源総量に換算すると、福建省(1,088,817m³/km²)、海南島(1,347,471m³/km²)など南部が多く、天津市(27,876m³/km²)、山西省(52,577m³/km²)などの北部地域、甘粛省、陝西省、寧夏自治区、内モンゴル自治区などの内陸部で少なくなっている。一人当たりの水資源総量をみると、最も多いチベット自治区では182,271m³/年に達するが、一人当たり水資源総量が1,000m³/年を超えるのは、31の省・直轄市のうち12のみである。最も少ない天津市ではわずか32m³/年、北京市では122m³/年であり、近郊を流れる海河の流量も少ないため、深刻な水不足に直面している。水資源が南部に豊富なことに加え、水資源の乏しい北部にも多くの大都市があることが一人当たり水資源総量の格差の要因となっている。

図表 2 中国水資源の分布－「1km²当たりの水資源総量」



出所：水利部「水資源公報 2001」より作成

²⁾ 水利部「水資源公報」では、評価地域内における降水による地表・地下の流出総量(区域外からの流入を含まない)を「水資源総量」と定義している。すなわち、「水資源総量」＝「地表水資源量」＋「地下水資源量」－「重複量」。図表1に掲載した日本の水資源賦存量は、水資源の利用可能量を見積もるためのベースとなる指標であり、中国の「水資源総量」の定義と一致する。

図表 3 水資源総量と供給総量のバランス



出所：図表 2 に同じ

水資源総量は潜在的な供給可能量を示す一つの指標であるが、省や市といった特定の地域に限定すれば、上流からの流入分が加わり、供給可能な水資源量となる。実際に、給水施設から供給された量を示すのが「給水量³」であるが、北京市、天津市、河北省などの北部地域、上海市、江蘇省などの長江下流地域と寧夏自治区では給水量がその地域の水資源総量を上回っている（図表 3）。これは、地域の水資源総量を上回る需要に対し、上流からの流入分による供給が行なわれているためである。ただし、各省・都市がどの流域⁴に属するか、もしくはどの河川から給水可能かによって、実際の供給可能量は大幅に違ってくる。たとえば、長江流域の水資源総量は 10,032 億 m³、中国全体の水資源総量の 36%にあたる豊富な水資源を有する（図表 4）。このため、長江流域では、十分な取水を行なうことができる。長江流域の水資源総量に対する実際の給水量の割合は 17.2%と低く、潜在的な給水能力は高い。一方、北部を流れる松遼河流域はその水資源総量が長江の 12~13%に過ぎず、

³ 水利部「中国水資源公報」の定義による。

⁴ 河川の流域とは、降雨が最終的にその河川に流れ込む地域のことを指す（=集水域）。従って、流域はある河川に沿った地域のことを意味するが、必ずしもその河川からの給水地域と等しいわけではない。ただし、中国全体、省といった広範囲なレベルで見た場合、流域がその河川からの潜在的な「給水可能地域」に近いとみなすことができる。そこで本補論では、各省がどの流域に属しているかを供給可能な水量を示す一つの指標として用いた。

海河、黄河は3～5%程度に過ぎない。さらに、海河、黄河、淮河の水資源総量に対する給水量の割合はそれぞれ147.8%、69.2%、44.7%と高く、水資源利用が進んでいるため、下流地域は河川からの十分な取水を期待することが難しい。使用された水の一部は、再び地表水、地下含水層に回収されることになるが、水利部「水資源公報」では、使用された水のうち、蒸発、土壌吸収等により回収されない水量を「水消費量」と定義している。海河流域では、この数値が100%を超え、水資源総量のほとんどが使い尽くされていることがわかる⁵。また、七大河川⁶の上流部にあたる西部地域では、水資源総量に比べ、数パーセントしか取水されておらず、下流地域への供給源となっているが、今後、西部大開発が進み、上流部での水消費量が増加すれば、下流での使用可能な水量は一層減少し、さらに深刻な水不足に陥る地域が出て来るであろう。流域内での適切な水資源配分が今後の大きな課題となる。

図表 4 主要河川の水資源総量

主要河川流域	流域面積 (万km ²)	水資源総量 (億m ³)	単位当たり水資源 総量 (億m ³ /万km ²)	水使用量 (億m ³)	水使用量/ 水資源総量	水消費 率(%)	水消費量 (億m ³)	水使用量/ 水資源総量
松遼河	123.9	1,395	11.3	618	44.3%	53	327	23.5%
黒龍江	90.3	1,352	15.0	—	—	—	—	—
遼河及びその他河川	34.5	577	16.7	—	—	—	—	—
海河	31.8	270	8.5	398	147.8%	68	271	100.5%
黄河	80.0	566	7.1	391	69.2%	57	223	39.4%
淮河	33.2	1,233	37.1	552	44.7%	62	342	27.7%
長江	179.9	10,032	55.8	1,725	17.2%	48	828	8.3%
珠江	57.7	4,429	76.8	825	18.6%	48	396	8.9%
東南緒河	20.4	2,129	104.4	311	14.6%	53	165	7.7%
西南緒河	84.2	6,123	72.7	99	1.6%	69	68	1.1%
内陸河	349.5	1,524	4.4	579	38.0%	67	388	25.5%
全国	960.0	27,701	28.9	5,498	19.8%	—	3,012	10.9%

注：1) 流域面積のデータは1997年。

2) 黒龍江、遼河及びその他河川を除く主要河川の水資源総量データは2000年。黒龍江、遼河及びその他河川の水資源総量データは1956～1979年の平均値。

3) 水使用量、水消費量のデータは2000年。

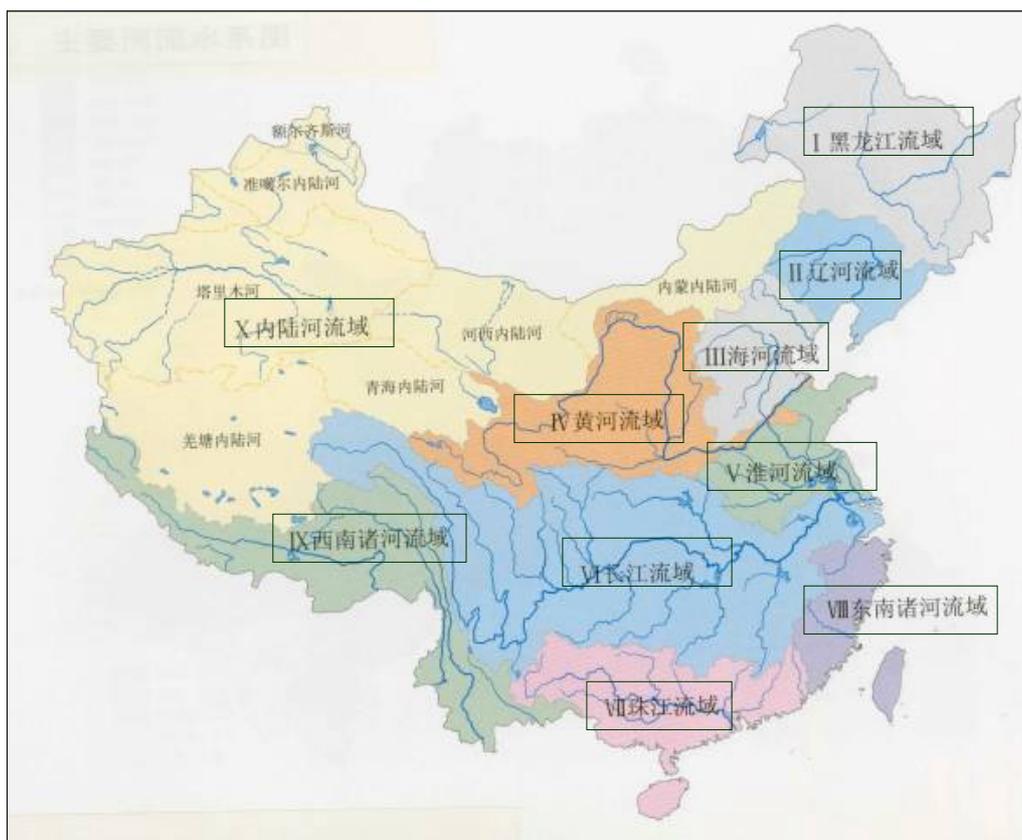
4) 水消費率＝水消費量／水使用量

出所：劉昌明 陳志愷主 編（2001）「中国可持續發展水資源戰略研究報告書集第二卷 中国水資源現状 評価和供需發展趨勢分析」中国水利水電出版社、「水資源公報」により作成

⁵ 海河流域で水消費量が水資源総量を上回るのは、主に黄河等からの導水によるものと推察される。

⁶ 七大河川とは、遼河、海河、淮河、黄河、松花江、珠江、長江を指す。

図表 5 主要河川の流域マップ



注：I 黒龍江流域、II 遼河流域、III 海河流域、IV 黄河流域、V 淮河流域、VI 長江流域、VII 珠江流域、VIII 東南諸河流域、X 内陸河流域、IX 西南諸河流域
 出所：劉昌明 陳志愷主 編（2001）「中国可持續發展水資源戰略研究報告書集第二卷 中国水資源現狀 評価和供需發展趨勢分析」中国水利水電出版社

1.2 用途別水使用量の推移

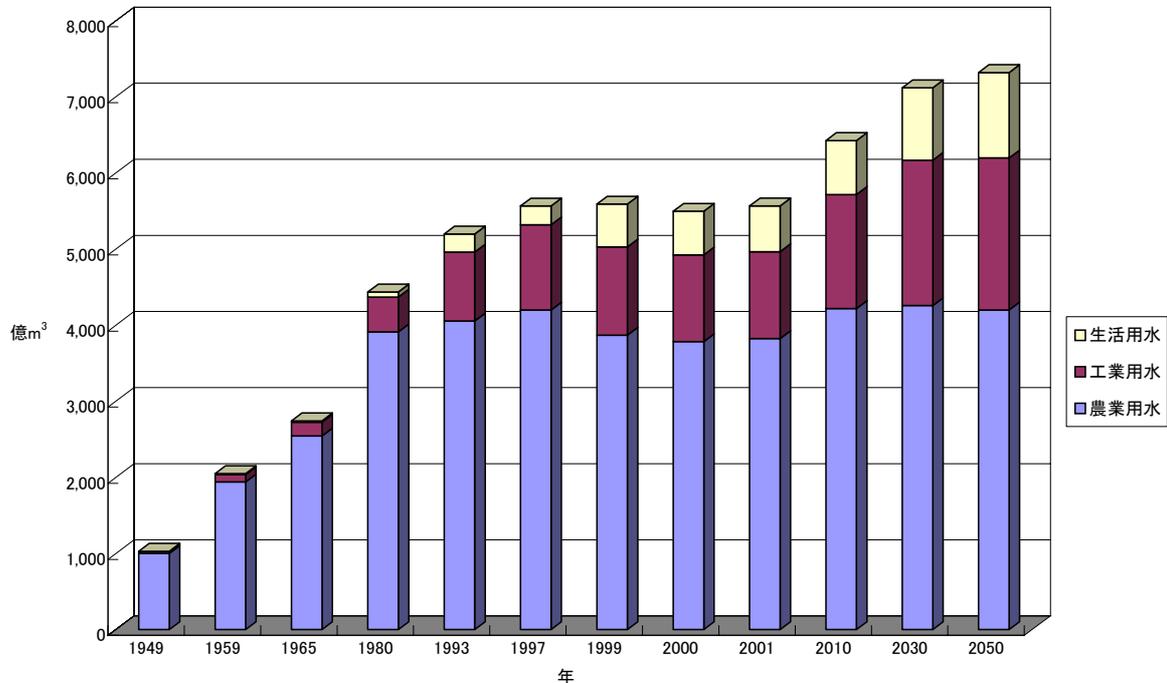
2001年の水使用量は5,567億 m^3 、そのうち約70%は農業用水が占め、工業用水は約20%、生活用水は約10%を占める。農業用水は80年代以降4,000億 m^3 前後で安定する一方、90年代以降の急速な経済発展により、工業、生活用水の伸びが著しい。1人当たり水使用量は建国当初（1949年）の187 m^3 /人から1980年には450 m^3 /人へと大幅に上昇したが、80年代以降は450 m^3 /人で安定して推移している。黄河断流が起きた97年以降は、節水対策を強化した効果もあり、農業用水が減少、水使用量はほぼ横ばいとなっている。

図表6は水使用量実績値（2001年まで）と中国工程院（水利部）による2050年までの需要予測であるが、今後、農業用水は横ばい、工業用水と生活用水が増加するとしている。工業用水は97年から2030年までに1,121億 m^3 から1,911億 m^3 へと増加するが、2050年にかけては工業用水原単位（水使用量/工業生産額⁷）が減少するため、微増に留まる。

⁷ 中国の統計では工業生産額を示す「工業総産値」という言葉がしばしば用いられる。

生活用水は1人当たり使用量が増加するため、2010年には708億m³、2050年には1,121億m³になるとしている⁸。

図表 6 用途別水使用量の現状と予想



注：1) 2001年までは実績値。2010年以降は97年ベースの予想値。

2) 生活用水＝都市生活用水＋農村生活用水

出所：中国工程院報告書「中国可持続発展水資源戦略研究報告集」、水利部「中国水資源公報 1999」「同 2000」「同 2001」より作成

1.3 深刻化する水環境問題

水使用量の増加による水資源環境への負荷も大きくなっている。現在、給水量の約20%を地下水から採取しているが、過剰な地下水汲み上げは地盤沈下につながる。国家環境保護局によると2000年の北西部では降水量が少なかったため、同地域における地下水の採取量が増加し、都市部での水位低下が進行した。特に、北京、天津を含む華北平原では、4万km²を超える広い範囲で地下水の水位が低下した。一方、東南地域では降水量が比較的多く、地下水の採取も少なかった。

水質汚染も大きな問題となっている。河川の水質悪化は工場廃水による重金属や有害物質の増加、生活廃水による富栄養化により深刻化しており、水源の水質低下も同時に進行している。工業および都市生活廃水の排出総量は415億トン(2000年)で、そのうち、工業廃水の排出量は194億トンと95年に比べ大きく減少しているが、都市の生活污水は

⁸ 同予測は97年までのデータに基づいており、それ以後の農業用水の大幅な節水効果は織り込まれていないため、若干高めの予想になっている可能性がある。

221 億トンと大きく増加している。また、廃水中の化学的酸素要求量（COD）⁹の排出総量は 1,445 万トンと 95 年に比べ減少したが、生活廃水中の COD 排出量は 740 万トンへと増加した。2000 年における工業廃水処理率（県および県以上の工業と重点郷鎮工業汚染源を含む）は、94.7%となっており、工業廃水の排出基準達成率は 82.0%だった。

図表 7 廃水および COD（化学的酸素要求量）の排出量（1995 年、2000 年）

年度	廃水排出量(億トン)			COD排出量(万トン)		
	工業	生活	総量	工業	生活	総量
2000年	194.2	220.9	415.1	705.0	740.5	1,445.0
1995年	281.6	133.7	415.3	1,622.9	610.3	2,233.2
増減(%)	-31.0	65.2	0.0	-56.6	21.3	-35.3

出所：国家環境保護総局「中国環境状況公報 2000 年版」

中国の七大河川の汚染は、遼河、海河、淮河、黄河、松花江、珠江、長江の順に深刻である。農業用水の基準を満たさない V 類以下の水質が淮河では 36.3%を占め、海河、遼河ではそれぞれ 60.7%、62.4%に達する¹⁰。七大河川の 57.7%が、生活飲用水に適する III 類水質要求を満たしており、21.6%が一般工業用水に適する IV 類水質、6.9%が農業用水に適する V 類水質、残りの 13.8%が V 類以下の水質となっている。

都市部における地下水の汚染も進行しており、一部の地域では、基準値（全硬度¹¹、硝酸塩、亜硝酸塩、アンモニア性窒素、鉄、マンガン、塩化物、硫酸塩、フッ化物、pH 値など）を超えるケースも見られる。北部の汚染が南部よりも深刻であり、特に華北地区の汚染が著しい。

⁹ 水中の有機物を酸化剤で化学的に分解した際に消費される酸素の量で、河川、湖沼、海域の有機汚濁を測る代表的な指標。工場・事業場、家庭からの排水には多くの有機物が含まれており、これら排水が河川、湖沼、海域に放流されると、富栄養化となり、プランクトンが異常発生し、赤潮や青潮の原因となる。中国では、1984 年の水污染防治法や 89 年の国家環境保護法、その他の行政規定により水質基準が定められている。

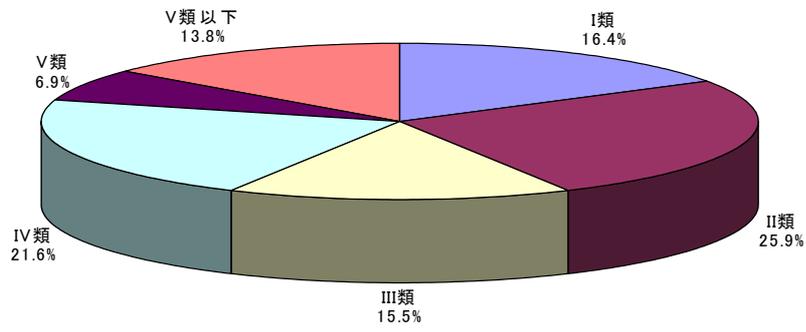
¹⁰ 中国における河川の水質分類

水質分類	水域機能
I 類	水源水、国家自然保護区に適す
II 類	集中式生活飲用水水源地一級保護区、希少魚類保護区、魚や海老の産卵場等に適す
III 類	集中式生活飲用水水源地二級保護区、一般魚類保護区および水泳区に適す
IV 類	一般工業用水および人体に直接触れない娯楽用水区に適す
V 類	農業用水区および一般景観水域に適す

出所：水利部「水資源公報 1999」

¹¹ 硬度は、水中のカルシウムイオンおよびマグネシウムイオンの量を、これに対応する炭酸カルシウム（CaCO₃）の量に換算して水 1 リットル中の mg 数で表したものを。カルシウム硬度とマグネシウム硬度の合計量を全硬度（Total Hardness）といい、飲料水としておいしさの基準になる。

図表 8 2000 年度の七大重点流域水質類別の割合



出所：国家環境保護総局「中国環境状況公報 2000年版」

第2章 中国の産業立地と水資源分布

2.1 産業立地と水資源分布

産業は製品の消費地における1単位当たりのコストが最も低くなるように立地するのが望ましい。産業立地について初めて理論的な分析を加えたA. ウェーバーは、①労働費、②輸送費、③産業集積のメリット¹²を工業立地の決定と要因とした。一企業の行動を前提に考えれば、①原燃料の生産地価格、②原燃料の輸送費（生産地から工場まで）③賃金、④減価償却費、⑤資本コスト、⑥製品輸送費（工場からマーケットまで）によってコストが決まるため、これを最小化するための行動が取られる。水以外のコストを一定とすれば、水の調達コスト、工場までの輸送費が製品価格に反映されるため、最も安く水を調達できる地域に立地することになる。水は輸送に適さないため、基本的には水の輸送費は考慮する必要がなく、水の購入価格と安定供給が立地を左右する。むろん、企業自ら長距離の導水により給水する場合は、そのコストも考慮する必要がある。

したがって、製造コストや環境負荷の最小化を重視するならば、水資源分布をある程度考慮に入れた産業立地が望ましい。水資源不足の地域における過度の水利用と廃水の増加は河川本来の浄化機能を低下させ、水質悪化を招き、結果として利用可能な水資源の減少につながる可能性が高い。実際には、水以外の原燃料の生産地価格、水以外の原燃料の輸送費、賃金、製品輸送費等の要因が大きく、必ずしも水資源の豊富な地域に企業が立地するとは限らない。しかしながら、産業立地がコスト最小化の原則に基づいて行なわれているならば、ある程度、水資源分布を考慮した産業集積が形成されるはずである。以下、中国における産業立地と水資源分布の関係について検討する。

まず、産業集積を示す指標として、各省・直轄市の工業生産額（＝工業総産値）を、水資源分布を示す指標として、各省の水資源総量を取り上げた。ただし、第1章で述べたように、水利部の「水資源総量（降水量－蒸発散量）」データには、定義により上流からの流入分が含まれていないため、「水資源総量」の乏しい下流地域でも長江のように流量の豊富な河川からの取水によって十分な給水が行なわれている地域もある。また、同じ省内でも異なった水系に属する地域が存在する場合や省の平均的なデータからすると水不足と思われるが、局地的にみれば、十分な給水能力を持つ省もあり、省レベルの水資源総量データから分析できることは、限られている。このため、「水資源総量」のデータに加え、各省がどの流域に属するかをみることで、各省の水不足度を測る目安とした。

図表9は2000年の各省・直轄市の主な河川、降水量、水資源総量、一人当たり・単位面積当たり水資源総量¹³、水資源総量と給水量の差¹⁴、工業生産額を示したものである。上海市、江蘇省では水資源総量と給水量の差がマイナスになっているが、流量の豊富な長江下流に位置しているため、水資源は豊富である。また、寧夏自治区は黄河の上流に位置して

¹² 産業集積は社会インフラの整備、熟練労働者の容易な調達といったメリットと地価の高騰といったデメリットを併せ持つ。

¹³ 図表2のデータ再掲。

¹⁴ 図表3のデータ再掲。

いるため、黄河からの取水を行なうことができる。一方、北京市、天津市、河北省は流量の少ない海河流域に位置しているため、河川からの取水を十分に行なうことができない。松遼河は海河、黄河、淮河に比べると水資源総量は多いものの、下流域の遼寧省ではやはり水不足が問題となっている。

図表 9 2000 年の省別水資源総量、工業生産額（工業総産値）

省・直轄市	主な流域	降水量 (億m ³)	水資源総量 (億m ³)	シェア	一人当たり 水資源総量 (m ³ /year)	水資源総量 /km ²	供給総量 (億m ³)	水資源総量－ 給水量(億m ³)	給水量/水資 源総量	工業総産値 (億元)	シェア
北京市	海河	73.71	16.86	0.1%	122.00	100,357	40.40	(23.54)	239.6%	2,565.38	3.0%
天津市	海河	47.98	3.15	0.0%	31.47	27,876	22.64	(19.49)	718.7%	2,606.38	3.0%
河北省	海河	901.31	144.35	0.5%	214.04	75,974	212.16	(67.81)	147.0%	3,426.05	4.0%
山西省	黄河・海河	734.22	82.02	0.3%	248.77	52,577	56.87	25.15	69.3%	1,216.86	1.4%
内蒙古自治区	黄河・海河・松遼河・内陸河	2,499.67	369.79	1.3%	1,556.36	31,259	172.29	197.50	46.6%	748.97	0.9%
遼寧省	松遼河	735.49	137.36	0.5%	324.12	94,276	136.36	1.00	99.3%	4,249.46	5.0%
吉林省	松遼河	1,047.80	352.35	1.3%	1,291.61	188,422	113.46	238.89	32.2%	1,679.91	2.0%
黒竜江省	松遼河(黒龍江)	2,212.88	619.76	2.2%	1,680.02	132,145	296.75	323.01	47.9%	2,460.88	2.9%
上海市	長江	75.70	30.74	0.1%	183.63	495,806	112.66	(81.92)	366.5%	6,204.52	7.2%
江蘇省	長江	1,103.11	429.06	1.5%	576.85	418,187	445.60	(16.54)	103.9%	10,452.87	12.2%
浙江省	長江・東南緒河	1,683.00	964.70	3.5%	2,062.65	947,642	203.27	761.43	21.1%	6,603.65	7.7%
安徽省	長江・淮河	1,575.47	642.89	2.3%	1,073.99	462,511	176.69	466.20	27.5%	1,661.44	1.9%
福建省	東南緒河	2,333.19	1,306.58	4.7%	3,764.28	1,088,817	178.18	1128.40	13.6%	2,616.12	3.1%
江西省	長江	2,739.84	1,454.97	5.3%	3,514.42	873,331	217.64	1237.33	15.0%	932.21	1.1%
山東省	海河・黄河・淮河	931.00	252.09	0.9%	277.66	164,765	248.73	3.36	98.7%	8,311.53	9.7%
河南省	黄河・淮河・海河	1,643.56	669.96	2.4%	723.81	401,174	204.70	465.26	30.6%	3,494.96	4.1%
湖北省	長江	2,229.07	1,008.18	3.6%	1,672.50	537,983	270.60	737.58	26.8%	3,064.43	3.6%
湖南省	長江	3,126.35	1,765.81	6.4%	2,741.94	840,862	319.65	1446.16	18.1%	1,627.94	1.9%
広東省	珠江	2,975.15	1,609.28	5.8%	1,862.16	865,204	442.56	1166.72	27.5%	12,480.93	14.6%
広西自治区	長江・珠江	3,196.92	1,592.05	5.7%	3,546.56	673,741	292.50	1299.55	18.4%	1,003.24	1.2%
海南省	東南緒河	736.85	458.14	1.7%	5,821.35	1,347,471	44.61	413.53	9.7%	202.87	0.2%
重慶市	長江	1,023.00	597.75	2.2%	1,934.47	728,963	56.55	541.20	9.5%	962.32	1.1%
四川省	長江、黄河	4,508.34	2,654.03	9.6%	3,186.49	543,859	208.53	2445.50	7.9%	2,076.96	2.4%
貴州省	長江・珠江	2,290.22	1,217.49	4.4%	3,453.87	716,171	85.58	1131.91	7.0%	631.64	0.7%
雲南省	長江・珠江・西南緒河	5,183.54	2,451.83	8.9%	5,717.89	622,292	147.12	2304.71	6.0%	1,063.36	1.2%
チベット自治区	内陸河・西南緒河	7,252.94	4,775.49	17.2%	182,270.61	391,434	27.22	4748.27	0.6%	16.43	0.0%
陝西省	黄河・長江	1,285.24	354.60	1.3%	983.63	172,976	78.66	275.94	22.2%	1,184.58	1.4%
甘肅省	黄河・内陸河	1,043.76	188.19	0.7%	734.54	41,820	123.09	65.10	65.4%	840.58	1.0%
青海省	長江・黄河・内陸河	2,047.16	612.68	2.2%	11,827.80	85,094	27.88	584.80	4.6%	196.08	0.2%
寧夏自治区	黄河	110.83	7.00	0.0%	124.56	10,542	87.79	(80.79)	1254.1%	239.11	0.3%
新疆自治区	内陸河	2,745.04	931.67	3.4%	4,839.84	58,229	479.99	451.68	51.5%	852.01	1.0%
全 国	—	60,092.34	27,700.82	100.0%	2,188.35	289,633	5530.73	22170.09	20.0%	85,673.67	100.0%

注：1) 工業生産額（工業総産値）は当年（2000年）価格。

2) 各省に含まれる流域は、主要な流域のみを記載した。例えば、江西省の一部は珠江流域に含まれるが上記、リストには掲載していない。

出所：水利部「中国水資源公報 2000」、中国国家统计局「中国工業經濟統計年鑑 2001」、銭正英 張光斗 主編（2001）「中国可持續發展水資源戰略研究報告書集第一卷 中国可持續發展水資源戰略研究 総合報告書及び各課題報告」中国水利水電出版社、魏昌林「中国南水北調」中国農業出版社等により作成

工業生産額は水資源の豊富な広東省、江蘇省、浙江省、上海市で多くなっている。しかし、黄河の下流域に位置する山東省や松遼河の下流域に位置する遼寧省の工業生産額も大きい。海河流域の河北省、北京市、天津市は合計すると中国全体の 10%の生産額を占め、水資源不足の深刻な北部地域においても工業生産が活発に行なわれている。

工業用水はあらゆる産業で使われているが、その使用量と用途は様々である。飲料、化粧品などの原材料として使用される他、冷却・洗浄、また、発電用ボイラーの冷却など温度調節に使われる。従って、産業・製品ごとに水使用原単位は異なり、全ての産業の立地が必ずしも水資源に制約されるわけではない。このため、産業ごとにその立地と水資源分布の関係を検討する必要がある。

中国で最も工業用水を使用するのは、火力発電セクターである（図表 10）。1999 年の火力発電セクターの工業用水使用量は 1,308 億 m^3 であり、1 万 kWh の電力を発電するために 529 m^3 の水を消費する。主な用途は蒸気を作るためのボイラー用水と熱利用工程のための冷却水である。ボイラー用水は熱を節約するため、できるだけ循環した方が効率が良い。しかし、冷却には絶えず低温の水が必要なため、一度使用したものは排水し、新たに取水した方が効率が良い。このため、火力発電セクターのリサイクル率は 55.2%と低くなっている。

二次エネルギーである電力は、一次エネルギーの転化により製造されるが、火力発電の場合、石炭、石油が主な一次エネルギーとなる。中国の石炭埋蔵量（採掘可能確認量）は世界第 3 位であり、石油の埋蔵量も豊富であるが、その多くは東北・華北・西北地区¹⁵に分布している。こうした一次エネルギー分布や消費地との近接性の影響を受け、火力発電量は、上海、江蘇、華南、山西の各省、内モンゴル自治区等に加え、水不足の著しい北京市（高井発電所）、河北省（馬頭発電所）、山東省（石横発電所、辛店発電所）、遼寧省（阜新発電所、錦州発電所）でも発電量が多くなっている（各省：100 億 kWh/年以上）。

火力発電セクターの次に中国では、石油・石油化学、鉄鋼、製紙、紡績の順で水の使用量が多い。石油化学ではナフサの熱分解に高温高圧水蒸気が必要であり、発熱反応がある化学反応では冷却水が必要になる。石油精製でもその用途はほぼ同じである。鉄鋼業では高炉からめっきに至る各工程で冷却水が必要になる。特に、圧延機では大量の冷却水が必要とされ、鉄 1 トン当たりの水使用原単位は 29 m^3 になる。紙パルプは、パルプ繊維を水の中に分散させ、抄紙機で段階的に水分を圧搾しながら製造するため、大量の良質な水が必要になる。特に、中国では藁・アシ・バガス（サトウキビの絞りかす）などの非木材パルプを主原料とする製紙工場が多く¹⁶、排水中の残留物が多く、水の再利用も進んでいない。木材化学パルプの水消費原単位が 190 m^3/t であるのに対し、麦わらなど化学パルプは 270 m^3/t である。紡績の製造工程では、繊維を蒸すための蒸気、染色・洗浄用水と発電用の蒸気が必要になる。

¹⁵ 東北地区：遼寧省、吉林省、黒龍江省

華北地区：北京市、天津市、河北省、山西省、内モンゴル自治区

西北地区：陝西省、甘肅省、青海省、新疆ウイグル自治区、寧夏自治区

¹⁶ 1997 年の FAO（国際連合食糧農業機関）の統計によれば、世界のパルプ生産総量のうち、非木材パルプの生産量が 11%を占める。また、非木材パルプの生産量の 80%強に相当する 1,600 万トン（うち、ワラとアシが 9 割余）は中国での生産によるもの。なお、中国でも木材パルプへの転換を進めている（出所：日本製紙連合会）。

鉄鋼は、遼寧省、上海市、湖北省、四川省、北京市、河北省が主要な生産地域となっている。遼寧省には、鞍山鉄鋼公司・本溪鉄鋼公司があり、一大鉄鋼基地を形成、北京市、天津市は、唐山とあわせて、重点鉄鋼企業が点在する京津唐鉄鋼生産基地を形成している。製紙（紙・板紙・紙製品）の生産は、遼寧省、吉林省、黒龍江省、天津市、北京市、上海市、江蘇省、広東省、四川省、陝西省、福建省等で多くなっている。紡績の生産は、長江デルタ地域、華北平原および黄河中・下流地域（天津・石家荘・鄭州・北京・西安・太原・洛陽等）、山東地域が中心となっているが、全国にその生産拠点は点在する。

図表 10 主要産業の水使用量と原単位

	1999年				取水原単位
	工業用水	取水量	再利用率	再利用率	
火力発電	1,308	586	722	55.2%	529m ³ /万kw/h
紡織	93	66	26	28.5%	200m ³ /t
製紙	119	59	59	50.0%	198m ³ /t
鉄鋼	215	32	183	85.1%	29m ³ /t
石油・石油化学	231	29	202	87.5%	2m ³ /t
その他	520	387	133	25.6%	—
計	2,484	1,159	1,325	53.3%	—

注：1) 製紙の取水原単位はパルプ。木材パルプは190m³/t、藁パルプは270m³/t。

2) 石油・石油化学の取水原単位は原油。

出所：中華人民共和国 国家経済貿易委員会「工業節水の十五計画」

このように水多消費型産業に限定した場合でも水資源の豊富さと生産量の相関関係は低く、その立地は必ずしも水資源量の制約を受けているわけではない。水資源の豊富な地域のみならず、水資源量の少ない北部地域に鉄鋼、製紙などの水多消費型の産業が立地しており、北部の水不足を深刻化させている。特に、リサイクル率が低く、取水量が多い紡績、製紙産業の立地が問題となっている。

さらに、中国では、鉄鋼、セメント、化学、機械等の主要産業が全国に分散し、小規模工場がそれぞれの地域に多数存在していると言われている。これを裏付けるデータの一つとして、例えば、1990年の主要34製品の生産地域をみると、セメント、電力は全ての省・直轄市で生産されている（図表11）。糸、布、紙・板紙、ビール、タバコ、粗鋼、鋼材製品、硫酸、苛性ソーダ、化学肥料は30の省・直轄市のうち29省で生産されており、化学繊維、銑鉄、木材、プラスチック、工作機械も28省で生産されている。比較的生産地域が集中しているのは原油、天然ガスなどの天然資源を加工する産業（18省）であり、絹（19省）、トラクター（11省）の生産地域も限られている。しかし、主要製品の大半はチベット自治区を除く全ての省・直轄市で生産されている。2000年になると、冷蔵庫、洗濯機、乗用車を生産している省の数は減少しているが、依然として、各省で主要製品が生産されている。中国では、このように分散型の産業立地が形成されている。次節では、産業立地の形成過程を概観することで、産業立地と水資源分布との関係を検討していく。

図表 11 主要産業の生産地域（1990年、2000年）

製品	生産省数		工業製品	生産省数	
	1990	2000		1990	2000
化学繊維	28	29	銃鉄	28	29
糸	29	28	粗鋼	29	30
布	29	29	鋼材製品	29	30
絹	19	19	セメント	30	31
紙・板紙	29	30	板ガラス	26	29
塩	25	23	木材	28	27
砂糖	23	25	硫酸	29	30
ビール	29	31	工業用炭酸ソーダ	26	24
タバコ	29	29	苛性ソーダ	29	29
冷蔵庫	24	17	化学肥料	29	30
エアコン	-	19	化学農薬	25	26
洗濯機	22	16	プラスチック	28	28
カラーテレビ	27	21	工作機械	28	27
石炭	26	27	自動車両	24	27
原油	18	18	内、乗用車	23	12
天然ガス	18	23	トラクター	11	14
電力	30	31	マイクロ・コンピューター	-	22
内 水力発電	29	30	集積回路	-	13

注：1990年の分類は30の省・自治区・直轄市であるが、2000年は重慶市が分類に加わり、計31になっている。

出所：「中国統計年鑑1991」「中国統計年鑑2001」より作成

2.2 産業立地の要因分析

A. ウェーバーの分析は、マーケット・メカニズムが働くことを前提としているが、中国における産業立地の問題を考える際には、①旧植民地時代の外国資本による工業化の影響、②社会主義体制の影響、といった要因も考慮しなければならない。製品1単位当たりのコスト最小化という基準に加え、歴史的・制度的な要因が中国の産業立地に大きな影響を与えていると推察される。以下、中国に特徴的な産業立地の要因（国土条件と物流インフラ、軍事・産業政策、水価格政策）について分析する。

2.2.1 国土条件と物流インフラの未整備

生産地域が全国に分散している要因として第一に、国土が広大であることが挙げられる。中国は9,597,000km²、日本の約25倍の広大な国土を持つ。その国土をつなぐ輸送インフラは主に鉄道、内陸河川と道路である。かつて輸送手段の中心だった鉄道のシェアは1978年の44.2%から97年には13.3%へと下がる一方（加藤（2000）p.138）、トラック輸送は34.2%から76.5%へと上昇している。しかし、トラック輸送の平均輸送距離は54kmと短く、主に域内での輸送手段として使われ、長距離の輸送は鉄道・内航水路が中心となっている。また、内航水路は南部など一部の地域に限定されるため、地域間の輸送は依然として鉄道が主な担い手になっている。交通部の発表によると、2001年末時点で中国の道路延

長距離は 169 万 8 千キロに達し、世界第 4 位となった¹⁷。しかし、単位面積当たりで見ると、道路延長距離は日本の 1/23、鉄道延長距離は 1/12 と輸送インフラの未整備が目立つ（図表 12）。

このような国土条件とインフラ未整備のもとでは、輸送コストを考慮すると、主要産業が各地域に分散せざるをえない。

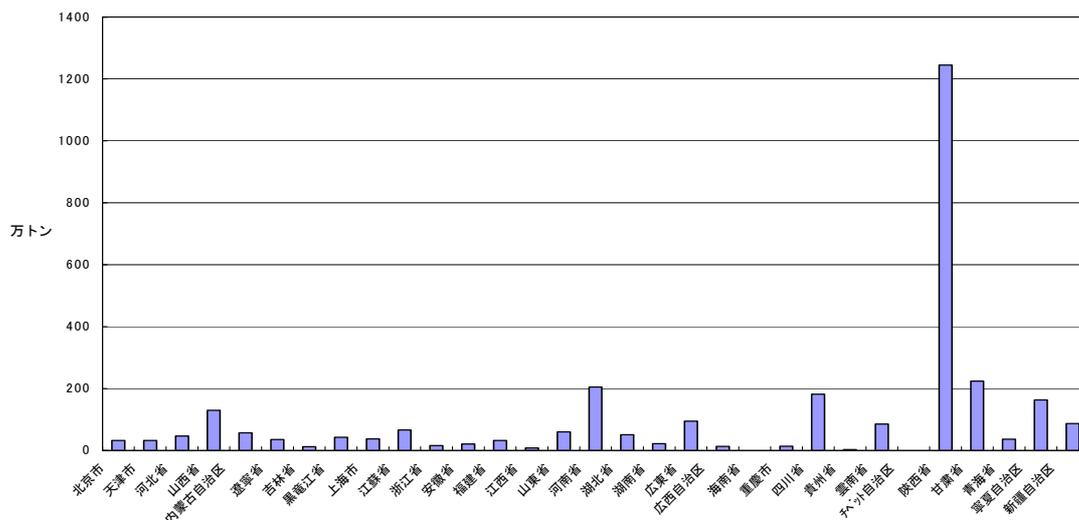
図表 12 中国の輸送インフラの現状

	単 位	調査時期	中国	日本	韓国	タイ
鉄道延長距離	km/万km ²	98年	60	720	316	79
道路延長距離	km/万km ²	96~98年	1,332	30,358	8,583	1,259

出所：日本国駐華大使館経済部(2001)「数字で見る中国経済」(原典は World Bank「2000 World Development Indicators」)、「中国統計年鑑」、総務庁統計局「日本統計年鑑」、国際道路連盟 (IRF) 資料、「Jane's WORLD RAILWAYS 1999-2000」など

地域間輸送の担い手である鉄道貨物輸送量の省・直轄市別のデータを見ると、圧倒的に省・直轄市内での輸送量が多くなっている。貨物到着量の省内比率（同じ省・直轄市内からの貨物到着量／貨物到着量）は北京、天津、上海などの大都市では低くなっているが、山西、内モンゴ、遼寧、黒龍江などでは 50%を超える高い値となっている。例えば、陝西省の省内比率は 40.8%だが、これに山西、河南、四川、甘肅、寧夏などの隣接した省からの到着量を含めると約 70%に達する（図表 13）。貨物発着量も同様に大都市を除くと省内比率が高い傾向にある。これは各省内で自立した経済圏が形成されている可能性を示す一つの例である。

図表 13 陝西省の貨物到着量



出所：「中国統計年鑑 2001 年版」より作成

¹⁷ 人民日報 2002 年 3 月 14 日

2.2.2 軍事・産業政策の影響

第二の要因として、これまでの軍事・産業政策が産業立地に及ぼした影響が挙げられる。こうした政策の影響を分析するには、1949年の建国まで遡る必要がある。ここでは、①改革・開放前の毛沢東時代、②鄧小平時代、③ポスト鄧小平時代、に分けて概観する。

<改革・開放前の毛沢東時代>

建国当時の主要産業は旧植民地時代の影響により、沿岸部に集中していた¹⁸。このため、政府は第1次5カ年計画（1953-57）の中で、「既存の工業分布は極めて不合理である」との認識を示し、①工業を原料と燃料の生産地および製品の消費地に近づける、②国防上有利にするため奥地に分散させる、③遅れた地域の経済水準を引き上げる、という原理によって産業育成を実施するとした（尾上（1971）p.37）。この時期には、包頭（鉄鋼）、蘭州（石油精製）、武漢（鉄鋼）といった内陸部における装置産業の育成と重化学工業を中心としたフルセット型の産業部門を持つ大工業都市の育成に重点が置かれた。

第2次5カ年計画（1958-62）は骨子のみ公表となり、その詳細は明らかにされなかったが、1958年には全国を7つの「経済協作区」に分け、それぞれにおいて自己完結的な経済体系を作るという方針が出された。毛沢東は、「地方は方法を講じて独立の工業体系を建設すべきである。まず、協作区において、その後、多くの省において、条件があるところは比較的独立した、しかし、状況の異なった工業体系を建設すべきである。」（尾上（1971）p.43¹⁹）との発言を行い、フルセット型産業の育成を促した。具体的には、各協作区内の各省・自治区も、1個ないし数個の年産100万トン以下の中型鉄鋼コンビナートを建設し、県レベルではさらに多くの小型製鉄所、小高炉、土法高炉を建設するというものであった。人民公社の発展とともに農村各地に「土法高炉」運動が発生、約300万基の土法高炉が建設された。「土法高炉」とは人の背丈くらいの伝統的な製鉄炉であり、スケール・メリットは考慮されない設計であった。土法高炉の普及は森林伐採を促し、廃棄物は未処理のまま投棄されるなど環境悪化の大きな原因となった。鉄鋼業に加え、化学肥料、セメント、農業機械製造・修理など農業支援を目的とした「五小工業」の設立が目指され（加藤（2000）p.113）、農村地域での小規模な工業化が進んだ。また、この時期には「戸籍登記条例」が公布され（1958年公布）、都市戸籍と農村戸籍が分離された。この条例により、実質上、農民の都市部への移動が制限されることになった。

第3次～第5次5カ年計画（1966-80）も非公表であり、この中から産業政策の方針を読み取ることはできないが、1970年以降は、都市と農村の格差消滅という共産主義の理念に基づき、地方中小工業の建設が進められた。米ソの対立が激化したため、国防上の観点から工場を奥地に移転させるという方針がより大規模に実施されるようになった。この政策は「三線」建設と呼ばれ²⁰、沿岸部にあった主要な軍事工場は内陸の湖北、四川、貴州、

¹⁸ 鉄鋼業の約9割は東北地方で生産されていた。

¹⁹ 原典は1958年8月16日『人民日報』。

²⁰ 1965年から始まった「三線」建設とは、沿海地域を「一線」、沿海や国境に近い内陸部を「二線」、沿海から国境に最も遠い内陸部を「三線」（四川、貴州、湖北、陝西、河南省など）に分け、沿海から「三線」地域に軍需関連施設を移転する産業立地政策を指す（加藤（2000）pp.112-113）。

雲南などの山岳、丘陵地帯に移転した。

以上のような毛沢東の時代の政策により、建国当初、沿岸部に集中していた産業は、内陸部へ拡散し、各省が重化学工場を中心としたフルセット型の産業を持つようになった。こうした一連の政策は沿岸部に偏った産業分布を均一化し、内陸部の工業生産増加に寄与する一方、製品のコスト最小化を実現する産業立地の原則には沿わないものだった。結果として、主要原料の一つである水資源分布とはかなり関連性の低い産業集積の分布が形成されていった。

<鄧小平時代>

79年に鄧小平の時代に入ると、中国は改革開放政策を進むようになり、重化学工業重視の路線から均衡成長路線へ転換を図った。80年の第2次産業（製造業、工業、建設業）の比率は49%を超え、高い比率を占めていたが、80年代に入ると特に耐久消費財の需要増加が経済成長の牽引役となった。この時期の産業立地の方針は「長所を伸ばし、短所を避け、各地の比較優位を發揮する」というものであり、経済合理性に基づいた地域分業を促すものになった（加藤（2000）p.114）。こうした方針のもと、広東省を中心に沿岸部に新たな工業集積が形成されていった。

沿岸部を中心に新しい産業が起きる一方で、90年代に入るまで地域分散の傾向は依然として続いていた。これは、80年代に地方分権が進み、地域保護主義が台頭してきたことが背景にある。鄧小平は「放権讓利」として、①地方・企業の経営管理自主権の拡大、②財政請負の導入²¹、③地方立法権の付与を実施した（天兒（2000）pp.3-36）。こうした地方分権の動きの中で、80年代後半から地方の保護主義が強まり、地方間での競争・対立や中央―地方での対立が見られるようになってきた。例えば、湖北、吉林、遼寧省では、省外からの食糧、軽工業製品の流入を禁止、吉林、河南、遼寧、湖北省では、酒類、洗剤、自転車、テレビなどは省内で生産したものしか販売を認めない法令が制定された。また、綿花、カイコ、石炭などの原料の域外への移出を制限することも行なわれた（天兒（2000）pp.3-36）。これが「諸侯経済」と呼ばれる現象であり、市場分断がその特徴の一つとなっている。

その結果、毛沢東時代の各地域におけるフルセット型産業構造は、改革・開放期に入っても地方の保護主義に支えられて維持されることになった。この時期には、小規模な郷鎮企業²²が発展、95年にはGDPの約25%を占めるに至った。郷鎮企業の発展は過剰な生産能力と非効率的な生産体制を生み出し、廃水・廃棄物の増加は環境悪化に拍車をかけた。80年代に入っても中国の産業立地は、自然資源、労働力などのコストを最小化するという経済的なインセンティブのみならず、地方の保護主義という政治的要因の影響を受けていたと言えよう。

²¹ 財政請負制とは、地方の財政収入の内、一定額(算定の仕方は各地方自治体により異なる)を地方財政へ留保し、残りを中央財政へ上納する制度である。留保される資金の用途については、地方政府の裁量に任される（出所：経済企画庁「平成3年 年次世界経済白書」）。

²² 郷鎮企業とは、かつて人民公社があった時代に人民公社と生産大隊が経営していた企業であり、農村の副業から発展したもの。84年以降は、郷、鎮（村）が営む共同経営企業及び個人企業を指す。

<ポスト鄧小平時代>

92年の南巡講話以降、鄧小平の改革開放路線は再び加速することになり、産業立地についても新しい考え方が導入され始めた。鄧小平の引退後もこの路線は継続し、第9次5ヵ年計画（1996-2000）の中では、「地域経済のバランスの良い発展の促進、各地域が国家計画と産業政策の指導のもと、地域の条件にあった発展の重点と優位な産業を選び、地域間の産業構造の同質化を回避し、各地の経済がより高い起点から前進できるようにしなければならない」という方針が打ち出され、地域間の分業が促されるようになった。地方分権を進める大きな柱であった「財政請負制」は「分税制²³」へと切り替えられ、再び、中央集権への動きが強まった。こうした動きを受け、沿海部を中心として、中国は著しい経済発展を遂げることになる。重厚長大産業は長江周辺へ、加工組み立て型産業は深圳を中心とする広州デルタ地域へ、ハイテク・研究開発型産業は頭脳集積のある北京を中心とした北部地域へ誘致するなど資源の賦存量、消費地、人材といった要素を考慮に入れた産業育成の動きも加速している。沿岸部での経済発展に伴い、農村部から都市部への出稼ぎ労働者が急増、特に、90年代以降、広東省、上海市などで労働力移動に関する規制緩和が進み始めた。

また、第9次5ヵ年計画では、深刻化する環境悪化を防止するため、「環境汚染と生態系破壊が激化する状況を基本的に食い止める、いくつかの都市と地域の環境の質を改善する」といった目標が掲げられた。汚染の深刻な郷鎮企業については、移転や閉鎖の方針が出されていたが、実際の措置が取られた例は少なかった。しかし、94年に起きた淮河上流の河南省での汚水流出事故をきっかけに94年末までに淮河流域の197社の郷鎮企業が閉鎖され、96年9月末までに製紙工場だけで1,094社の郷鎮企業が行政命令で閉鎖された。全国規模では、96年に小型ないし伝統的製法の製紙、なめし、コークス、硫酸、砒素、水銀、鉛、石油精製、金、農薬、メッキ、石綿、放射能の15業種の郷鎮企業に対して閉鎖の行政命令が出され、97年までに約6万の郷鎮企業が閉鎖された（小島（2000）p.39）。

朱鎔基首相は引き続き、国有企業改革の一環として、非効率な中小企業の閉鎖を積極的に進めた。例えば、紡績業では1万錘削減につき政府が300万円の補助金と200万円の融資を提供することによって、1997年～99年までに老朽化した綿紡錘の機器、906万錘を廃棄し、労働者116万人を帰休させた。石炭、鉄鋼、石油化学（精油所）、建材（セメント、ガラス）、精糖の5業種において零細工場の閉鎖、生産設備の廃棄を行った。図表14は1999～2001年における生産総量調整の結果であるが、こうした生産総量調整は、産業再編を促す一つのきっかけとなった。

²³ 分税制とは、①中央税、地方税、中央と地方の共同享有税を合理的に区分し、税制を基礎とする分級財政体制を確立する。②税収政策の面では、付加価値税を主とし、消費税と営業税を補完的なものとする新しい流通税制度を確立し、同時に所得税制度を確立し、完全なものにする。③予算編成の面では、経常的予算と建設的予算からなる複式予算制度を実行する。④マクロ規制の面では、予算、税収、国債、補助などの政策手段を総合的に運用して、経済総量の均衡と経済構造の最適化を促すというもの。

図表 14 1999-2001 年における生産総量の成果

業種	成果	2001 年 実績	2002 年 目標
紡績	<input type="checkbox"/> 綿紡績 949 万鍾 <input type="checkbox"/> 毛紡績 30 万鍾		
石炭	<input type="checkbox"/> 不法、配置が不合理な小規模炭鉱 5.8 万カ所を閉鎖。これにより国有重点炭鉱の生産量シェアは 98 年 40%から 2000 年の 55%程度まで上昇。	10 億 8,900 万トン	10 億 5,000 万トン (▲ 4%)
鉄鋼	<input checked="" type="checkbox"/> 閉鎖対象の小規模鉄工所 103 カ所のうち、85 ケ所を閉鎖し、394 万トンの生産能力を削減	粗鋼 1 億 4,900 万トン	1 億 2,500 万トン (▲ 16%)
石油化学	<input checked="" type="checkbox"/> 原始的精油所 6,000 ケ所、小規模精油所 111 カ所を閉鎖	原油処理 2 億 990 万トン	2 億 200 万トン (▲ 4%)
セメント	<input checked="" type="checkbox"/> 小規模セメント工場 3,894 カ所を閉鎖し、生産能力 9,450 万トンを削減	6 億 2,700 万トン	5 億 9,000 万トン (▲ 6%)
板ガラス	<input checked="" type="checkbox"/> 小規模ガラス生産ライン 238 本を閉鎖し、生産能力 2,855 万ケースを削減	2 億 400 万ケース	1 億 9,000 万ケース (▲ 7%)
製糖	<input checked="" type="checkbox"/> 閉鎖対象の小規模製糖工場 150 カ所のうち 85 カ所を閉鎖		

出所：黒岩達也、藤田法子「開かれた中国巨大市場－WTO 加盟後のビジネスチャンス」（原データ：国家経済貿易委員会「2002 年総量調整、構造調整工作指導意見」（2002 年 2 月 4 日）、日本経済新聞）

改革・開放政策の再加速と朱鎔基改革の結果、90 年代以降、主要製品の生産地域集中が進む傾向が見られる。図表 15 は主要製品の地域集中度（上位 5 省の生産量／全国生産量）の推移を示したものであるが、洗濯機、冷蔵庫、カラーテレビなどの家電製品、紙・板紙、化学繊維、セメントなどの素材製品、砂糖、塩などの食料品の地域集中度は上昇している。一方、粗鋼、鋼材製品、工作機械、自動車（除く、乗用車）では地域集中度が下がっており、製品によるバラツキが見られる。製品によって地域集中度の水準にも大きな違いがある。乗用車、マイクロ・コンピュータ、集積回路といった成長の著しい産業の集積度は高くなっている。半導体産業（集積回路）は水を大量に消費するため、上位 4 位までは水資源の豊富な省に立地している。一方、紡績、製紙、ビール、タバコ、鉄鋼、化学工業原料といった伝統的な水多消費型の産業の地域集中度は低く、産業の再配置が進んでいない。各地域に地元ブランドの製品があるビールは分散型生産体制の典型的な事例である。

図表 15 主要産業の地域集中度の変化

工業製品	上位5省集中度 1990	上位5省集中度 2000	生産量1位	生産量2位	生産量3位	生産量4位	生産量5位
化学繊維	62.5%	68.9%	江蘇省	浙江省	上海市	広東省	福建省
糸	51.1%	58.2%	江蘇省	山東省	湖北省	河南省	河北省
布	50.4%	39.8%	江蘇省	山東省	湖北省	浙江省	河北省
絹	85.7%	84.4%	浙江省	江蘇省	四川省	山東省	遼寧省
紙・板紙	33.3%	59.8%	山東省	河南省	浙江省	広東省	河北省
塩	54.2%	66.3%	山東省	河北省	江蘇省	遼寧省	天津市
砂糖	78.0%	90.7%	広西自治区	雲南省	広東省	広東省	福建省
ビール	45.1%	42.4%	山東省	北京市	浙江省	広東省	遼寧省
タバコ	44.2%	46.4%	雲南省	河南省	湖南省	山東省	湖北省
冷蔵庫	55.6%	78.7%	広東省	山東省	安徽省	江蘇省	河南省
エアコン	—	79.4%	広東省	山東省	上海市	江蘇省	安徽省
洗濯機	57.8%	78.3%	山東省	広東省	江蘇省	浙江省	安徽省
カラーテレビ	61.7%	74.8%	広東省	四川省	遼寧省	江蘇省	山東省
石炭	50.6%	48.3%	山西省	山東省	河南省	内モンゴ自治区	河北省
原油	85.8%	77.5%	黒竜江省	山東省	新疆自治区	遼寧省	広東省
天然ガス	95.8%	74.5%	四川省	新疆自治区	広東省	黒竜江省	陝西省
電力	32.2%	35.0%	広東省	山東省	江蘇省	河北省	河南省
内 水力発電	54.0%	53.0%	四川省	湖北省	雲南省	福建省	湖南省
鉄鉄	50.6%	50.5%	河北省	遼寧省	上海市	山西省	湖北省
粗鋼	55.8%	48.7%	上海市	遼寧省	河北省	湖北省	北京市
鋼材製品	54.6%	49.5%	上海市	遼寧省	江蘇省	河北省	湖北省
セメント	39.3%	43.5%	山東省	広東省	河北省	江蘇省	浙江省
板ガラス	48.6%	51.4%	河南省	河北省	江蘇省	山東省	遼寧省
木材	51.2%	50.4%	黒竜江省	福建省	吉林省	湖南省	内モンゴ自治区
硫酸	33.8%	43.4%	山東省	江蘇省	雲南省	四川省	湖北省
工業用炭酸ソーダ	71.6%	62.7%	山東省	江蘇省	河北省	天津市	遼寧省
苛性ソーダ	46.0%	47.2%	山東省	江蘇省	天津市	河南省	浙江省
化学肥料	39.4%	42.0%	山東省	四川省	河南省	湖北省	河北省
化学農薬	54.8%	66.8%	江蘇省	浙江省	河北省	湖北省	湖南省
プラスチック	44.7%	51.7%	江蘇省	広東省	上海市	遼寧省	山東省
工作機械	59.3%	52.0%	江蘇省	山東省	浙江省	上海市	遼寧省
自動車両	68.0%	55.6%	吉林省	重慶市	上海市	湖北省	北京市
内、乗用車	73.0%	92.5%	上海市	吉林省	天津市	湖北省	重慶市
トラクター	79.9%	60.5%	上海市	山東省	河南省	江蘇省	天津市
マイクロ・コンピューター	—	95.6%	北京市	広東省	福建省	遼寧省	上海市
集積回路	—	91.0%	上海市	江蘇省	広東省	浙江省	北京市

出所：「中国統計年鑑 1991」「中国統計年鑑 2001」より作成

2.2.3 水価格政策

以上のような国土条件、物流インフラの整備状況と軍事・産業政策に加え、製造コストに占める水費用の低さも水資源分布に適した産業配置を妨げる要因と考えられる。

水の用途は洗浄、冷却などに使用される割合が多く、もともと副原料として位置付けられることが多い。例えば、鉄鋼業の場合、鉄鉱石と石炭が主原料であり、副原料である水の生産額に占める割合は、当然、低いことが推測できる。これに加え、政策的に水価格が低く押さえられてきた。中国の水価格は、「水資源費用」と「水費」という概念から構成される。水資源は国の財産と考えられ、その利用には税金が課される。なお、水費は取水から供給までのコストを反映させたものである。

かつて水資源は無償で供給されていたが、80年代以降、水価格は段階的に引き上げられ、使用量に応じた累進料金制度も導入され始めた。1999年の工業用水の平均価格は1.21元/m³であるが、必ずしも給水コストを回収できる価格には設定されていない。しかし近年、

水不足の厳しい北京では 2.4 元/m³、水の比較的豊富な上海では 1.1 元/m³、と徐々に地域による格差がつき始めている（2001 年 3 月）。水資源量や供給コストに応じた水価格の設定により、水使用量が抑制される可能性はある。ただし、価格メカニズムの導入で需要抑制効果がどの程度働くかについては、データの蓄積が十分でないことから今後の研究課題となる。

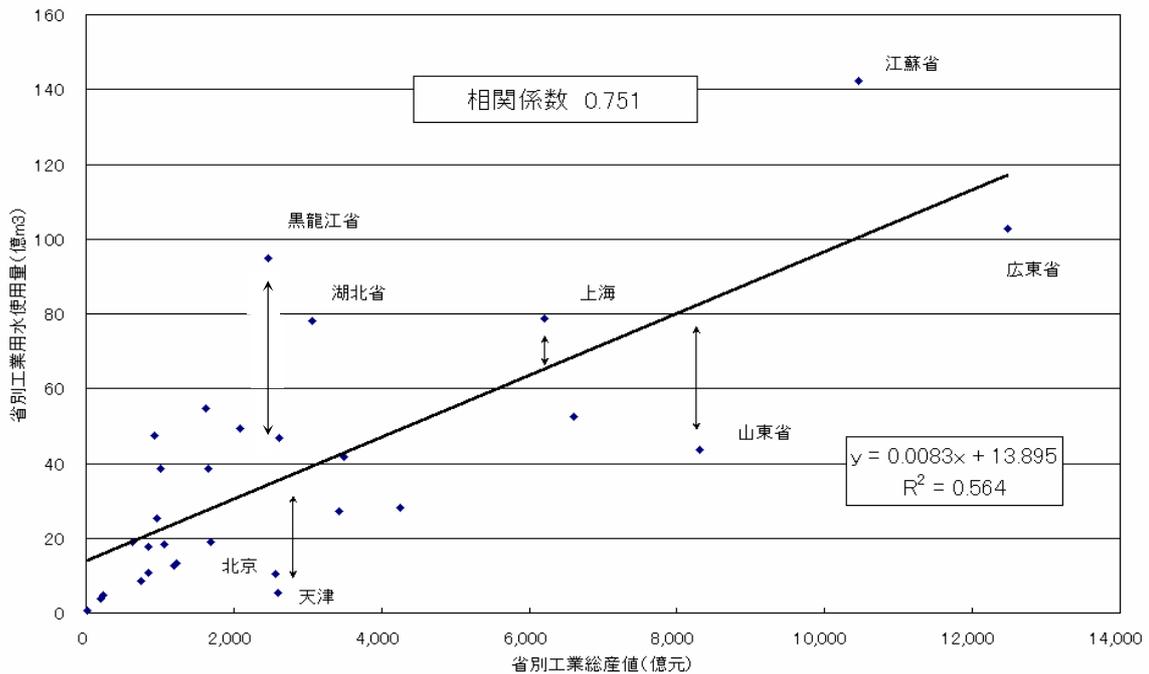
このように、中国の産業が分散型の構造となった背景には、国土条件と物流インフラの未整備、水以外の主要原料の調達コスト最小化といった経済合理的な要因の他に、軍事・産業政策、水価格の低さといった要因があった。これに、水資源分布の空間的偏在という自然条件が加わり、現在の産業立地は水資源に過度の負担を与えているものとなっている。これまでは、工業セクターに優先的に水を配分することで、工業発展が支えられてきたが、急速な経済成長に伴い北部の水需給の逼迫は深刻化している。このため、水資源立地を考慮に入れた産業の再配置が必要とされている。特に、改革・開放期以降も効率化が遅れている鉄鋼、製紙、紡績などの伝統的な水多消費型産業の再配置が大きな課題になると考えられる。

第3章 水のリサイクルと節水技術の向上

3.1 水使用原単位とリサイクル・節水の現状

第2章で見てきたように、産業の再配置は特定地域の水資源不足を解消する手段の一つであるが、一時的に失業者の増加を招くなど社会不安の増大につながる恐れがあるため、容易なことではなく、その実現にはかなりの時間を要する。このため、産業の再配置と同時に、節水対策も進めていく必要がある。図表16は省別の工業用水使用量（≒見かけ消費量）を縦軸に、省別の工業生産額を横軸にプロットしたものであるが、両者の間には緩やかな比例的関係があり（相関係数は0.75）、生産量が増加するに従って水使用量も増加している。ただし、水資源の少ない北京市、天津市、遼寧省、山東省などでは、工業生産額に比べ工業用水使用量が少なく、水資源の豊富な湖北省、湖南省や黒龍江省などでは、工業総産値に比べ水使用量が多く、地域ごとの水使用原単位（工業用水使用量／工業生産額）にはかなりのバラツキがある。

図表16 省別工業生産額と水使用量の関係（2000年）



注：1) 工業用水は企業内部のリサイクルは含まない新規取得水。

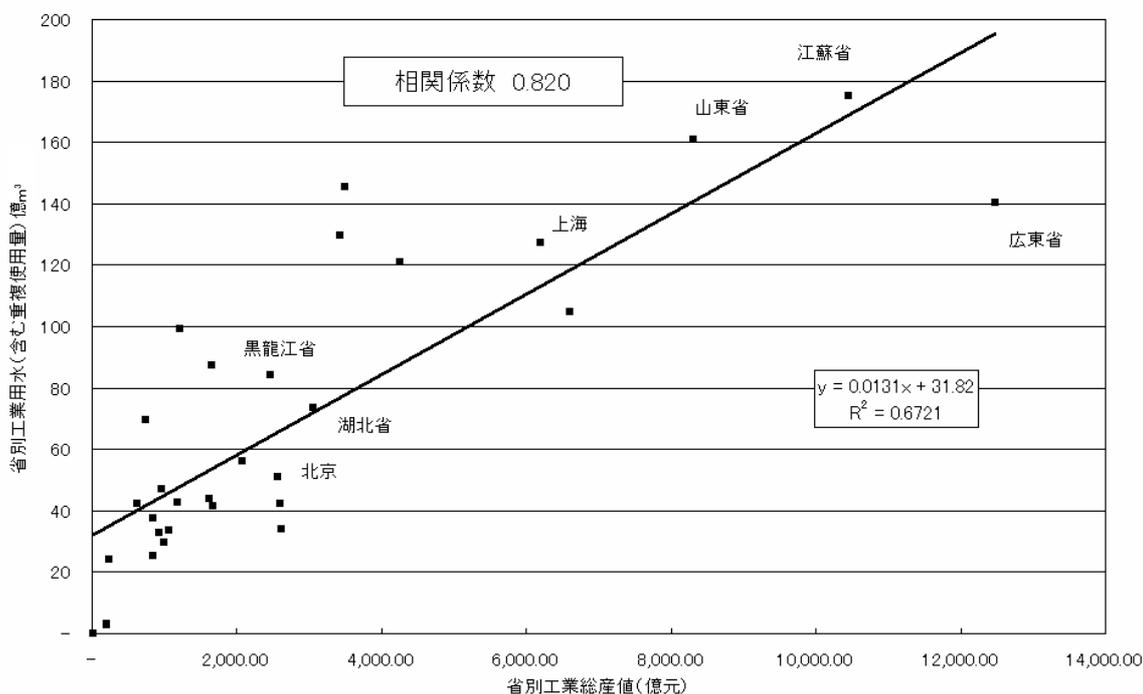
2) 27省・自治区と4直轄市が対象。

出所：水利部「中国水資源公報2000」、中国統計出版社「中国工業経済統計年鑑2001」より作成

こうした地域格差（図表16の↑↓の部分）の要因として、一般的にはリサイクル率と節水技術の違い、水多消費型産業の立地などが考えられる。ただし、第2章で見てきたように、北部、南部ともに水多消費型の産業が立地していることから、前者（リサイクル率

と節水技術)が地域格差の主な要因と考えられる。工業用水が不足する北部では一度使用した水を処理し、再び利用することが多い。省別の工業用水リサイクル率(重複使用率²⁴)を見ると、北京市では88.2%、天津市では91.5%、山東省では89.6%と高く、浙江省では33.9%、広東省では32.2%と低くなっており²⁵、地域ごとに大きな格差がある。地域によるリサイクル率の違いの影響を取り除くため、再利用率も含めた工業用水使用量(≒実際の水使用量)²⁶と工業生産額との関係をプロットしたもの(図表17)と図表16を比較すると、より残差(観測点と近似線の差)が小さくなっており、相関係数も高くなっている。

図表 17 省別工業生産額と工業用水の関係(含む重複用水)



出所：中国環境年鑑編集委員会『中国環境年鑑 2001』、中国統計局『中国工業経済統計年鑑 2001』より作成

このように、水資源不足が厳しい北部地域の工業発展を支えてきたのは、大規模河川からの取水や流域外からの導水(例：黄河流域から海河流域への導水)、工業セクターへの水の優先配分に加え、回収水の再利用や節水対策である。図表18は業種別水使用原単位(工業用水使用量：新規取得のみ/工業生産額)の推移であるが、全体的に低下する傾向にある。特に、環境対策から多くの中小企業を閉鎖した製紙業の原単位改善は著しく、96年の0.0567t/元から2000年には0.0387t/元へと大幅に減少している。また、鉄鋼業でも原単位の改善が見られる。

²⁴ 重複使用率=重複使用量/工業用水使用量(全国平均は68.5%)

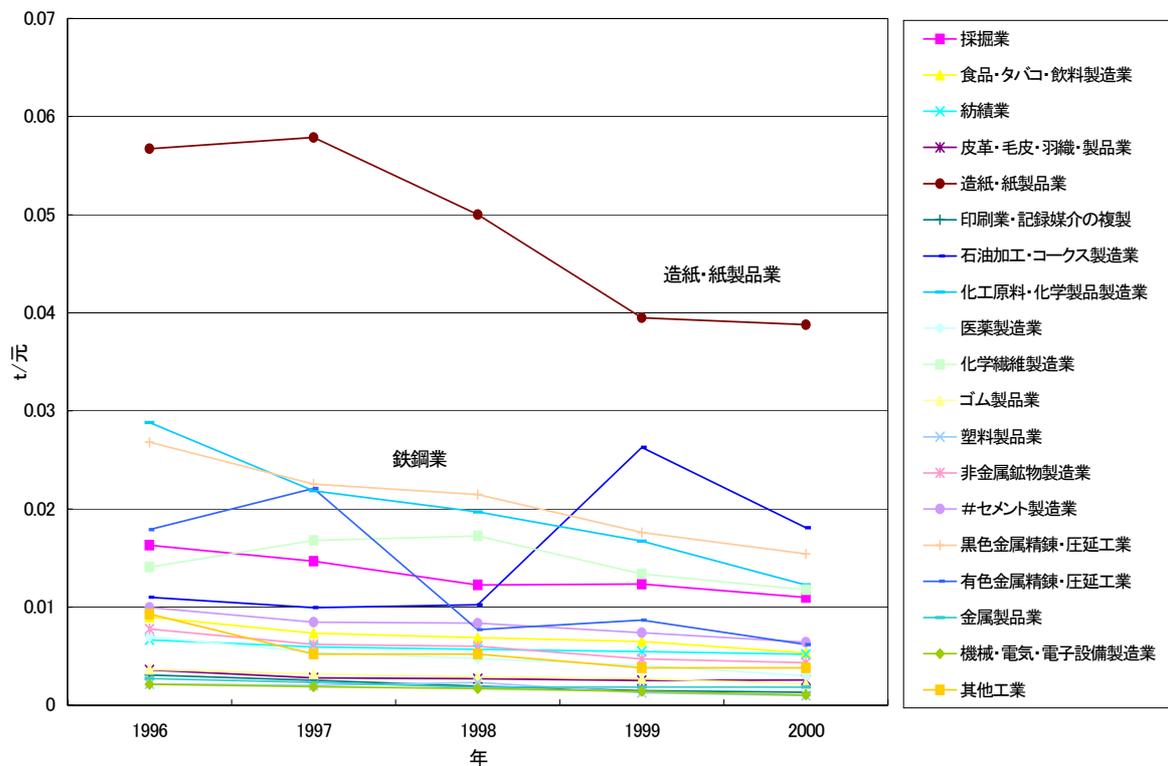
²⁵ 出所：中国環境年鑑編集委員会『中国環境年鑑 2001』(図表4-14参照)

²⁶ 工業用水データは中国環境年鑑のデータを使用。環境年鑑の全国の新鮮水量は水利部の工業用水の約6割となっているが、これは調査対象範囲の違いによるものと考えられる。

一方、リサイクル率（重複用水量／工業用水量）は業種による格差が大きく、今後も、工業用水需要の増加が見込まれるため、回収水の利用や節水技術の導入をさらに進めていく必要がある（図表 19）。

なお、地域別、業種別のリサイクル率データを入手できなかったため、詳細な分析をすることは難しいが、郷鎮企業と沿海部における大企業の発展という二元的な経済発展から推測すると、地域別・産業別のみならず個別企業によっても技術水準が異なり、水使用原単位・リサイクル率が大きく違っていると考えられる。

図表 18 業種別 水使用原単位（t/元）の推移



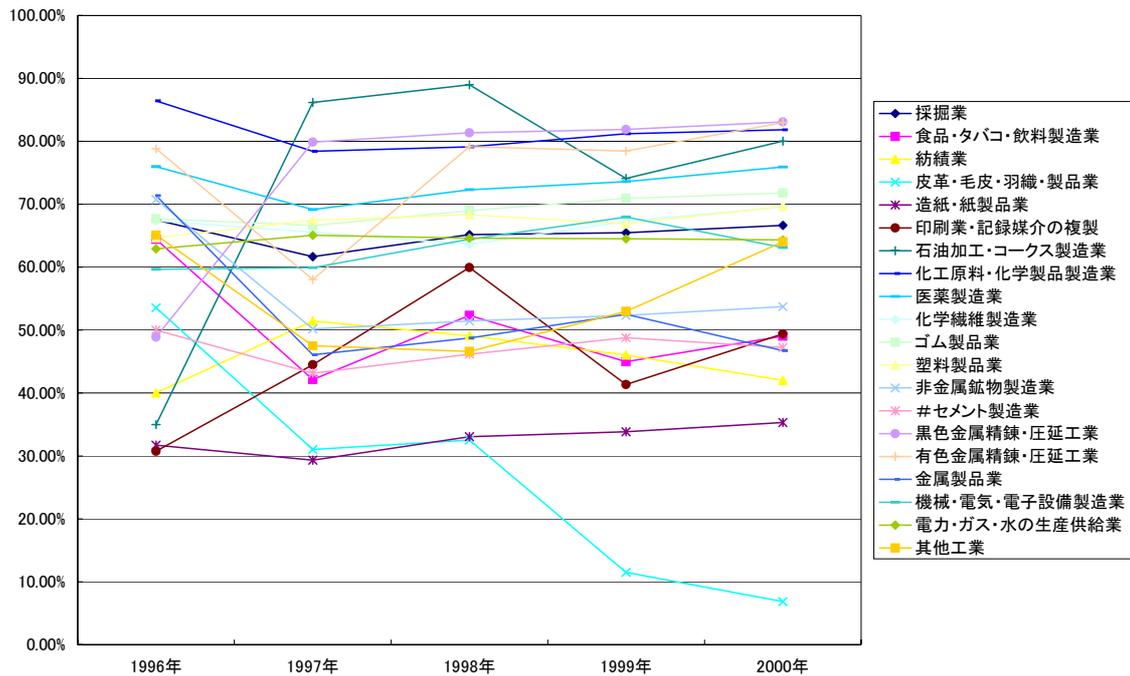
注：1) 水使用原単位 = (工業用水総量 - 重複用水量) / 工業生産額

2) 工業総産値は90年価格

3) 鉄鋼業 = 黑色金属精練・圧延工業

出所：『中国環境年鑑』、『中国統計年鑑』より作成

図表 19 業種別水リサイクル率（重複用水量／工業用水量）の推移



出所：『中国環境年鑑』より作成

3.2 日本との比較－節水対策の可能性

日本の製造業平均の回収水再利用率（リサイクル率：2000年）は78%と中国の53～68%²⁷を大きく上回る。現在の中国におけるリサイクル率は日本の70年代半ばに相当する。日本と中国では自然条件が大きく異なるものの、仮に日本を一つの基準とすれば、今後、リサイクル率を上昇させる余地はあるといえる。リサイクル率の違いは、一部、原単位の違いにも反映されている。中国では、工業生産額1万元当たり約330m³の新鮮水を必要とするのに対し²⁸、日本では約34m³/万元（1円=0.0745円で換算²⁹）と中国の約1/10となっている。日本の水使用原単位は60年代以降減少を続け、90年代に入るとほぼ横ばいとなり、安定している。なお、中国工程院の需要予測は、97年に98.6m³/万元だった工業用水原単位（工業用水使用量/工業出荷額）が2010年には44.4 m³/万元、2030年には17.9 m³/万元、2050年には9.9 m³/万元と先進国並みになることを前提としている。

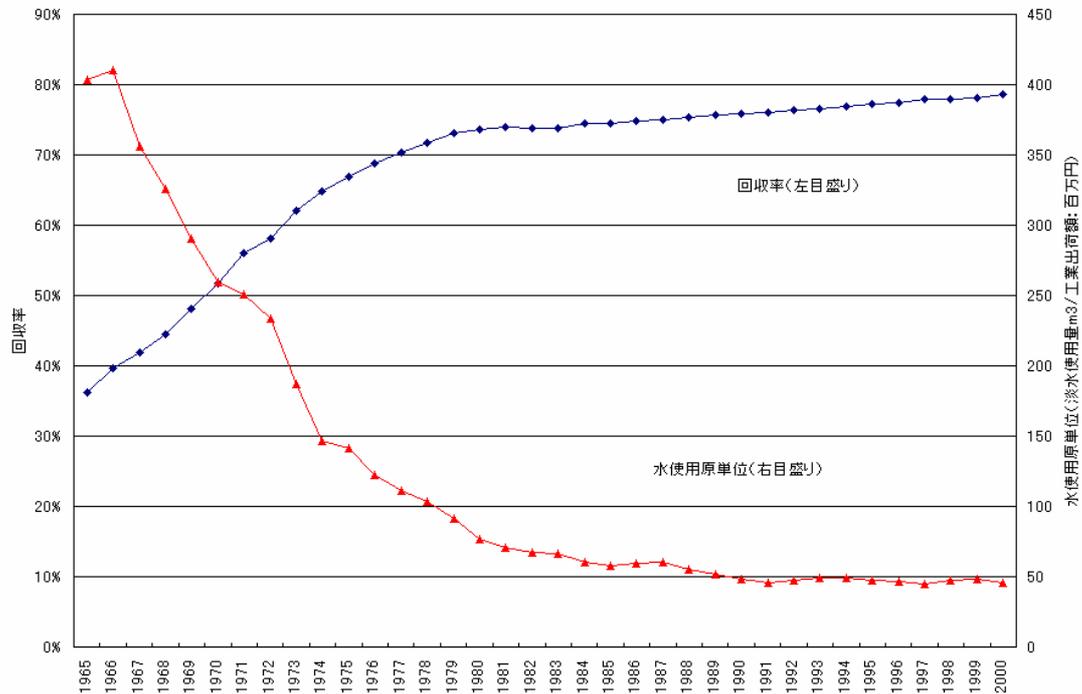
また日本では、海水を冷却水として使用することが多い。中国でも臨海部の工場では海水の利用率を高めることにより淡水使用量を減らすことが可能になるだろう。

²⁷ 68.5%は『中国環境年鑑』による2000年のデータ。国会経済貿易委員会の資料では、53.3%（1999年）となっている（図表10参照）。

²⁸ 出所：国家経済貿易委員会「工業節水の十五計画」

²⁹ 2000年の年平均値（出所：「中国統計年鑑」2001）

図表 20 水使用原単位と回収水利用率の推移（日本）



注：1) 水使用原単位＝淡水（除く回収水）使用量／工業出荷額。
 2) 回収水利用率（リサイクル率）＝淡水回収水／淡水使用量合計
 出所：経済産業省「工業統計表 用地・用水編」各年版より作成

個別の産業ごとにみると、日本でも中国と同様、鉄鋼、化学工業、紙パルプ産業が水を多く消費している。半導体産業でも洗浄用に多くの水を使用している。

例えば、上質紙 1 トンの製造には約 160 トンの水が必要と言われているが、日本では紙・板紙を 1 トン生産するのに約 90m³を取水している³⁰。一方、中国では 2.2 倍の 198m³を消費する（日本の 70 年代の水使用原単位に相当）。中国でもパルプ原料の切り替え、製造設備の更新、回収により水消費を削減できる可能性は大きい。

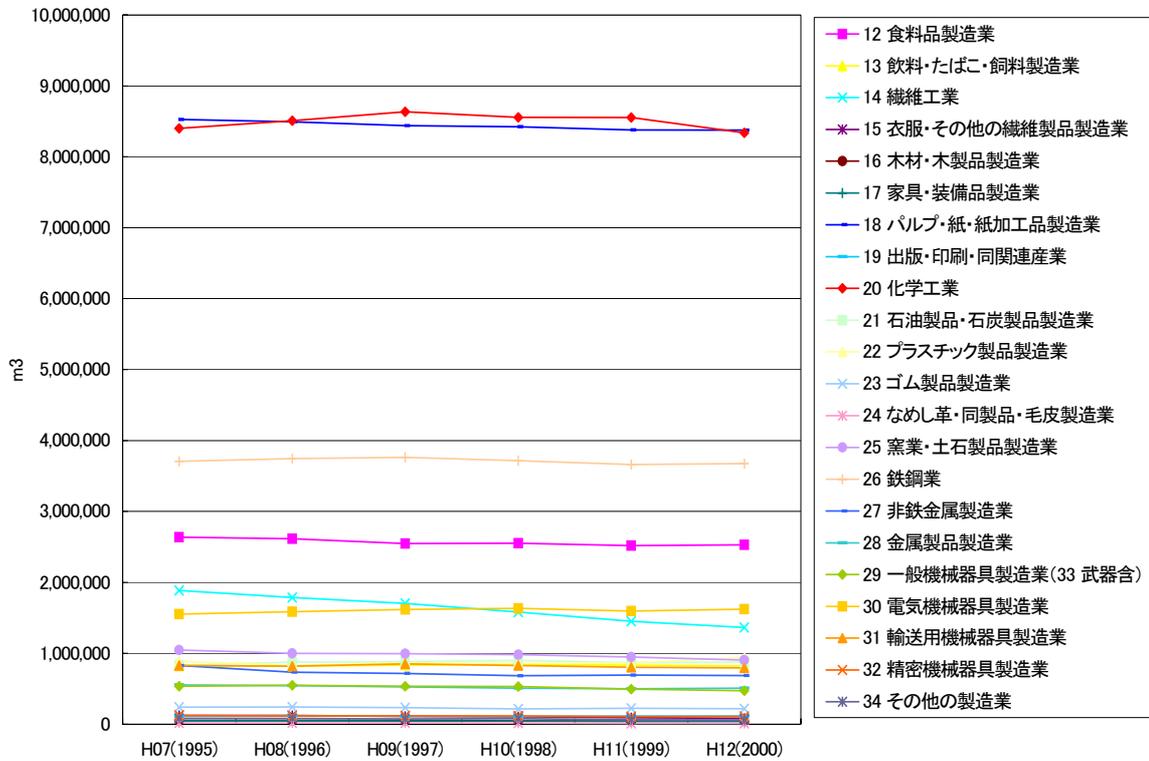
粗鋼 1 トンの製造には 150 トンの水が必要であり、このうち約 90%が冷却用である³¹。日本の鉄鋼業平均のリサイクル率が 90.6%（2000 年）であることから、粗鋼 1 トン当たり 14.1 m³取水されていると推定できる。一方、中国では約 2 倍の 29 m³/t の取水をしている。日本では微細なスケール、ダストなどの懸濁物質を含む冷却水やガス洗滌水は自然沈澱、凝集沈澱、ろ過処理等により再利用している。圧延工程などから出る油分を含んだ水も自然浮上、ろ過、凝集加圧浮上によって油分を取り除き、回収した油は燃料油等として再利用できる。酸洗、電解清浄、めっき工程から出る酸・アルカリや金属を含んだ水のうち、酸・アルカリ液の濃いものは再利用し、薄いものは中和処理する。このように、排水処理をきめ細かく行なうことで、中国の鉄鋼業においても水の再利用率は大きく向上する可能性がある。水使用原単位は生産設備の新しさにも依存するため、設備の適切な更新も必要となる。

³⁰ 98 年のデータ（日本製紙連合会資料）

³¹ 川崎製鉄資料

さらに、水価格メカニズムや税制上の優遇措置の導入も節水対策の一つとして、今後検討すべき課題の一つとなっている。

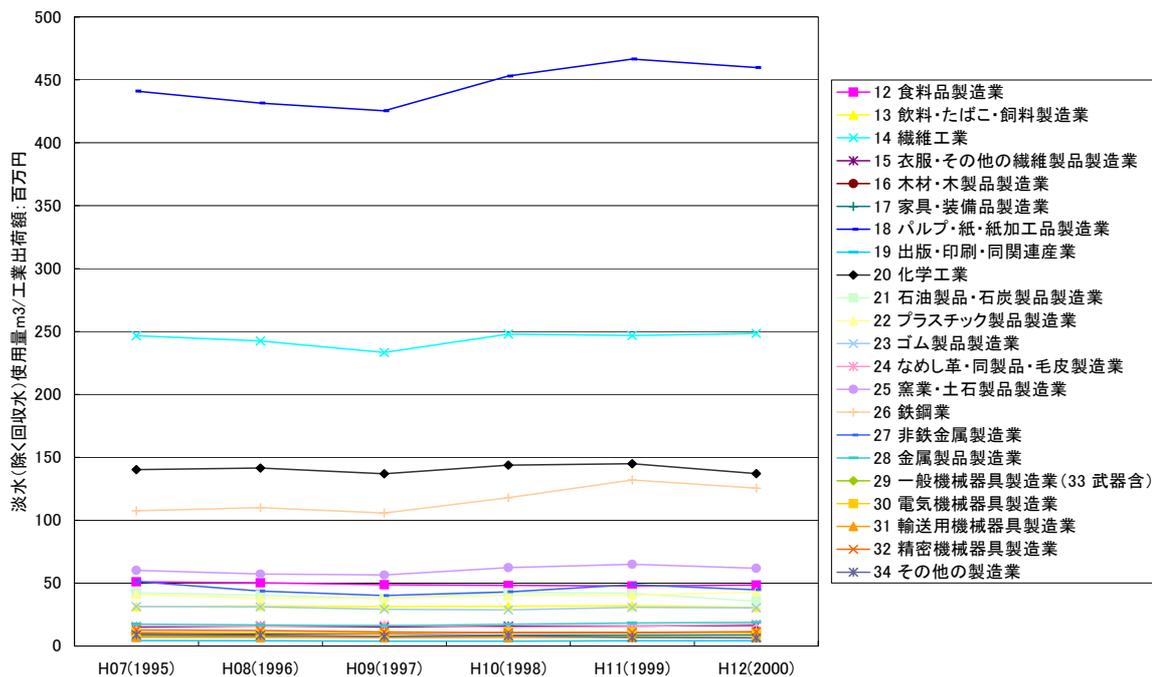
図表 21 業種別の淡水使用量（除く回収水）の推移（日本）



注：従業員 30 人以上の事業所が対象

出所：経済産業省「工業統計表 用地・用水編（平成 12 年）」より作成

図表 22 工業出荷額百万当たりの淡水使用量（水使用原単位）の推移（日本）



出所：図表 21 に同じ

3.3 下水道整備の必要性

取水量、廃水量の増加は、下流の農業用水、生活用水の質にも悪影響を及ぼしている。工場排水規制の遵守を徹底させるとともに、下水処理施設を整備することで河川を利用した自然のリサイクルが行なわれる環境を整える必要がある。中国の 2000 年における中国都市部の下水処理率は 34.3%にとどまり、その普及が課題となっている³²。中国政府は第 10 次 5 カ年計画の中で、下水道整備を積極的に行なう方針を打ち出しており、開発援助機関も重点分野の一つとして積極的な援助を実施している。

世界銀行は 80 年代後半から上海市、北京市、天津市、重慶市、淮河流域、遼河流域などにおいて下水道施設整備や工業汚染対策の事業を実施、アジア開発銀行も 90 年代から唐山市・承德市、北京市、安徽省などにおける環境改善事業や福州市、天津市の下水処理場プロジェクトを実施している。国際協力銀行は北京市下水処理場（第 2 次円借款）、青島開発計画(上下水道、第 3 次円借款)、河南省淮河流域、湖南省湘江流域、黒龍江省・吉林省松花江流域、大連市、西安市等（第 4 次円借款）において、下水処理施設と工業廃水処理場の整備を支援している。今後、水資源問題を解決する方法の一つとして、特に、工業発展が見込まれる地方都市での事業実施が必要とされる。下水処理した水を河川に戻すのではなく、地域の中で、「中水道」として再利用するシステム作りも水需給の逼迫した地域では必要となるだろう。

³² 日本の下水道普及率は平成 13 年度で 63.5%（出所：国土交通省）。

おわりに

中国は2001年に長江の水を北部に導水する「南水北調プロジェクト」の実施を決定し、2002年には基本計画が承認された。この事業が実施されれば、北部地域、特に海河流域の供給量は大幅に増加する。2050年までに年間448億 m^3 （東線148億 m^3 、中線130億 m^3 、西線170億 m^3 ）の水が長江から北京、天津市、山東省などの北部地域に運ばれる。導水による供給量増加は水不足問題を一挙に解決する手段であるが、南水北調を実施しても水資源不足は完全には解消されず、需要コントロールは依然として重要な課題となるであろう。環境にも多大な影響を与える大規模な計画を実施する前提として、既存の産業再配置、節水技術の導入と製造設備の更新、下水道の整備といったきめ細かな対策を講じる必要がある。中国政府も南水北調を進めるにあたっては、“三先三後”³³をスローガンに、節水対策の重要性を強調している。

90年代までは主に環境汚染対策を目的として中小企業の閉鎖などの対応策が進められてきたが、中国政府も非効率な産業配置が水資源問題を深刻化させている事態について認識を深めている。第10次5カ年計画（2001-2005）では、「水資源分布に基づき、工業配置を調整する」との方針が打ち出され、「水不足問題を抱える華北、西北等の地区は、鉄鋼企業の規模拡大には適さない」との認識も示された。新規の工場については、水資源確保に関する報告書提出が義務付けられるなどの規制が設けられ、水多消費型産業については、沿岸部への移転が促された。2002年10月には中華人民共和国水法が改正され、水資源の統一的管理の強化による合理的な配置、節水対策の重要性、使用量に応じた水価格制度の導入などの項目が加えられた。

既存産業の再配置は、水資源問題の解決に繋がる一方、国有企業改革と同様、失業問題を深刻化させる可能性があり、その実現には様々な障害がある。このため、一時的な優遇措置、税制、規制緩和、価格メカニズム等を通じて、労働力移動の自由、新しい産業育成を進め、産業の再配置を促進させる必要がある。中国の農村部における労働の限界生産力はゼロに近いと言われており、戸籍制度の改正により住民の移動が自由化され、労働力市場が統一されれば、安価な労働力の調達も容易になり、よりダイナミックな産業集積が起きることが予想される。こうした改革も並行して進めば、中国は水資源に大きな負荷を与えてきた産業構造を変えていくことが可能になる。

以上、本稿で分析してきた産業立地と水資源分布の問題、節水についての基本的な認識は、中国政府内でも徐々に形成されつつある。こうした方針に基づき、産業の再配置や節水・リサイクルを進めていけば、水資源に過度の負担を与えてきた工業発展のパターンを変え、環境に大きな影響を与えることのない新しい発展の軌跡を描くことが可能になるだろう。工場移転とそれに伴う産業構造の転換、節水技術の導入プログラムの検討など具体的な作業は今後の課題となる。そのためには、地域ごと、産業・企業ごとのより詳細な実態調査・研究が必要になるであろう。

³³ 先に節水した後に水を移動させ、先に汚染対策を進めた後に水を供給し、先に環境保護した後で水を使うことを指す。

参考文献

【和文文献】

- 丸川知雄編（2000）「移行期中国の産業政策」アジア経済研究所
葉剛（Ye,Gang）（2000）「中国鉄鋼業発展の構造変動」四谷ラウンド
中嶋誠一編著「中国長期経済統計」ジェトロ
田中修（2001）「中国第十次五カ年計画」蒼蒼社
井村秀文／勝原 健編著（1995）「中国の環境問題」東洋経済新報社
王保林（2001）「中国における市場分断」日本経済評論社
尾上悦三（1971）「中国の産業立地に関する研究」アジア経済研究所
黒岩達也、藤田法子（2002）「開かれた中国巨大市場－WTO 加盟後のビジネスチャンス」
蒼蒼社
黒田篤郎（2001）「メイド・イン・チャイナ」東洋経済新報社
長瀬誠（2003）「中国における水不足の現状と対策」『海外事情』Vol.51 No.12 拓殖大学
海外事情研究所
毛里和子編（2000）「現代中国の構造変動 1 大国中国への視座」東京大学出版会
中兼和津次編（2000）「現代中国の構造変動 2 経済－構造変動と市場化」東京大学出版会
天児慧編（2000）「現代中国の構造変動 4 政治－中央と地方の構図」東京大学出版会
小島麗逸編（2000）「現代中国の構造変動 6 環境－成長への制約となるか」東京大学出
版会
中華人民共和国水利部（1999）「中国水資源公報 1999」（JICA 訳）
中華人民共和国水利部（2000）「中国水資源公報 2000」（JICA 訳）
国家経済貿易委員会（2001）「工業節水の『十五』計画」（JICA 訳）
胡欣、邵秦、李夫珍編著（1989）「中国経済地理」大明堂

【中文文献】

- 中華人民共和国国家統計局編（2001）「中国統計年鑑 2001」中国統計出版社
錢正英、張光斗主編（2001）「中国可持續發展水資源戰略研究報告書集第一卷 中国可持
統發展水資源戰略研究 綜合報告書及び各課題報告」中国水利水電出版社
劉昌明、陳志愷主編（2001）「中国可持續發展水資源戰略研究報告書集第二卷 中国水資
源現狀 評価和供需發展趨勢分析」中国水利水電出版社
潘家錚、張沢禎主編（2001）「中国可持續發展水資源戰略研究報告書集第八卷 中国北方
地区水資源的合理配置和南水北調問題」中国水利水電出版社
国家統計局工業交通統計司編（2001）「中国工業經濟統計年鑑 2001」中国統計出版社
中国環境年鑑編集委員会（2000）「中国環境年鑑 2000」中国環境年鑑社

【英文文献】

- The World Bank, Sinclair Knight Merz and Egis Consulting Australia, the General
Institute of Water Resources & Hydropower Planning and Design (2001). *China
Agenda for Water Sector Strategy for North China* Vol.1-4.

【JBICI Research Paper バックナンバー】

1. Issues of Sustainable Economic Growth from the Perspective of the Four East Asian Countries、1999年12月（和文、英文）
2. Organizational Capacity of Executing Agencies in the Developing Countries: Case Studies on Bangladesh, Thailand and Indonesia、1999年12月（和文、英文）
3. Urban Development and Housing Sector in Viet Nam、1999年12月（英文のみ）
4. Urban Public Transportation in Viet Nam :Improving Regulatory Framework、1999年12月（英文のみ）
5. インドネシア コメ流通の現状と課題、1999年12月（和文のみ）
6. 中国・日本2010年のエネルギーバランスシミュレーション、2000年3月（和文、英文）
7. 農村企業振興に対する金融支援ータイ農業・農業組合銀行（BAAC）を事例にー、2000年11月（和文のみ）
8. 東アジアの持続的発展への課題ータイ・マレーシアの中小企業支援策ー、2000年11月（和文、英文）
9. 道路整備・維持管理の政策・制度改善に向けての課題、2001年2月（和文のみ）
10. Public Expenditure Management in Developing Countries、2001年3月（英文のみ）
11. INDIA: Fiscal Reform and Public Expenditure Management、2001年9月（英文のみ）
12. Cash Crop Distribution Systems in the Philippines-Issues and Measures to Address Them、2002年3月（英文のみ）
13. 広域物流インフラ整備におけるメルコスールの経験、2002年3月（和文、英文）
14. 中・東欧の広域インフラ整備をめぐる地域協力、2002年3月（和文のみ）
15. Foreign Direct Investment and Development: Where Do We Stand?、2002年6月（和文、英文）
16. Development Assistances Strategies in the 21st Century: Global and Regional Issues (volume1・2)、2002年7月（和文、英文）
17. 教育セクターの現状と課題 東南アジア4カ国の自立的発展に向けて、2002年7月（和文のみ）
18. インドシナ域内電力（電力セクター）、2002年8月（和文、英文）
19. 灌漑インフラ整備が貧困削減に与える効果の定量的評価ースリランカにおけるケースー、2002年11月（英文のみ）
20. IT化のマクロ経済的インパクト、2002年12月（和文、英文）
21. 参加型アプローチの費用便益分析ー概念整理と推計の枠組みー、2003年1月（和文、英文）
22. 高等教育支援のあり方 ー大学間・産学連携ー、2003年3月（和文のみ）
23. 中米諸国の開発戦略、2003年6月（和文のみ）
24. 紛争と開発：JBICの役割（スリランカの開発政策と復興支援）、2003年8月（和文、英文）
25. インドネシアの宗教・民族・社会問題と国家再統合への展望、2003年11月（和文のみ）
26. インドネシア中央政府財政と政府債務の持続可能性ー財政構造、政策効果、債務シミュレーション分析ー、2003年12月（和文のみ）
27. Restoring Economic Growth in Argentina、2004年1月（英文のみ）
28. 中国北部水資源問題の実情と課題ー黄河流域における水需給の分析ー、2004年3月（和文・英文）

注1) No.1、No.2の和文については、それぞれ、OECD Research Papers No.36 東アジア4ヶ国からみた経済成長のための課題（1999年7月）、OECD Research Papers No.37 途上国実施機関の組織能力分析ーバングラディッシュ、タイ、インドネシアの事例研究ー（1999年9月）として刊行されている。

注2) No.1~No.14はJBIC Research Paper Seriesとして刊行された。

【連絡先】

〒100-8144 東京都千代田区大手町 1-4-1

電話 03-5218-9720

ファックス 03-5218-9846

国際協力銀行 開発金融研究所 総務課

ウェブサイト <http://www.jbic.go.jp/>

JBICI Research Paper No.28
「中国北部水資源問題の実情と課題
—黄河流域における水需給の分析—」

2004年3月発行

編纂・発行 国際協力銀行 開発金融研究所
東京都千代田区大手町一丁目4番1号

©国際協力銀行開発金融研究所
本書の無断転載・複写を禁ず。

