

〔投稿論文〕

中国の水問題は解決可能か？ 一産業連関モデルからのアプローチ*

大東文化大学国際関係学部 岡本 信広
天津商業大学外国語学院日本語学科† 興津 正信
独立行政法人国立環境研究所‡ 岡寺 智大

1. はじめに

『通商白書 2008年版』では、「第3章 地球的課題に対応する『持続的発展のための市場』の創造」と題して、環境、資源、食料、水等の「地球的課題」の解決と経済成長を両立するために、「課題先進国」としての経験で培ってきた日本の技術やシステムを活用し、課題を解決し、貢献していくことが述べられている（経済産業省、2008）。日本政府自ら現在の地球的課題にどう取り組むべきか、環境問題に向かい合う1つの方向性を示したといっている。

このように環境問題は現在重要な地球的課題である。特に水は人間の生活に欠かせないものであり、持続的な経済成長を目指す上で、おそらく最も重要な課題の1つであろう。

従来の水問題は洪水などの水過剰問題が対象であったが、現在では水需要の増大、水供給の増加の停滞（衛生設備、水供給システムの未整備）による水不足問題が深刻化している。推計によれば2025年に世界で18億人が絶対的水不足（1人当たり年間水使用量1,000㎥）、55億人が水ストレス（1,700㎥以下）になるという予測もある（経済産業省、2008, p. 347）。

需要面をみると、人口増加と食糧需要増加、また所得の増加に伴う食生活やサービス消費の拡大によって確実に需要は増加している。供給面をみると、世界の水は地理的に偏在している。アジアでは世界人口の60%が住むが、水は36%しかない。アジアの水供給設備不足人口は世界の5割、

衛生設備不足人口は世界の6割強となっている（経済産業省、2008, p. 349）。またアジアでは排水設備不足による中国の水質汚染が注目的になっている。

本稿では、中国の水問題とは何かをテーマに、統計資料を中心としながら、水供給が少ない中で需要と汚染が拡大していることを示す。そして第11次5ヵ年計画における中国政府の水問題への取り組みを紹介し、この取り組みにより問題解決が可能かどうか、水の産業連関モデルによって検証する。結論として、汚染の度合いを示す化学的酸素要求量（COD：Chemical Oxygen Demand）の排出削減は可能かもしれないが、水需要の削減は難しいことを主張する。なお、CODは水中に含まれる有機物（汚染）の量を示しており、工場排水などの汚染の度合いを示す指標として一般的に使用されている。

2. 中国の水問題とは

2.1 水資源

最初に、中国の水資源の状況を把握する。水資源とは、海を除けば降雨という形で提供されるものである。井村（2007, pp. 101～102）によれば、中国では年間降水量6.1兆tのうち、地表水（河川など）と地下水で利用可能な水資源量が、2.8兆tあり、1人当たり換算すれば2,000t程度になり、世界的な水準の3分の1であるという。しかも水ストレスを感じる1,700㎥に非常に近い。

地表水の代表は、長江、黄河、珠江、松花江、

*本稿は、岡本信広（2009）「中国の水問題は解決可能か」（猪俣哲史・桑森啓編『2005年BRICs国際産業連関表の作成と利用』アジア国際産業連関シリーズNo.73 アジア経済研究所）のデータを更新し、内容を加筆修正したものである。

†天津商業大学外国語学院日本語学科専任教員

‡アジア自然共生研究グループアジア水環境研究室研究員（工学博士）

淮河、海河、遼河の七大水系である。長江、珠江以外は北方に位置し、水量が小さい。特に黄河の断流は有名な事実である。

水資源全体を眺めてみる（表1参照）。全体の水資源量は約2.4兆 m^3 から約2.8兆 m^3 であり、ここ8年の平均ではおよそ2.7兆 m^3 ほどで、増加しているという傾向はみられない。したがって総量的に上限が決まっていると考えられる。そして地表水と地下水では3：1の比率であることを考えると、地表水が重要な水源であることは間違いない。したがって河川の管理が中国水資源の確保にとって重要な意義をもつことになる^(注1)。

次に、地域別の水資源の状況を見る（表2参照）。水資源の最も少ない地域は華北（北京、天津、河北、山西、内モンゴル）であり、554億 m^3 しかなく、1人当たりの水資源量は392 t となり、絶対的水不足の地域である。この地域には海河があるにもかかわらず、水資源の主役は地下水となっている。

水資源の総量からみると、華北の他に東北（遼寧、吉林、黒竜江）、西北（陝西、甘肅、青海、寧夏、新疆）が少ない。中国の北側の地域は全体に水が不足しているといえる。幸い西北地域の人口が小さいため、1人当たり水資源量は3,000 t を超えている。

1人当たり水資源量をみると、華北、東北、華東（上海、江蘇、浙江、安徽、福建、江西、山東）の水資源量は2,000 t を割っている。長江下流域でも1人当たりでみると水資源が豊富とはいえないようである。水量の多い長江中流域、珠江流域の華南（河南、湖北、湖南、広東、広西、海南）では、水資源量全体としては豊富でも1人当たりでは2,000 t という水準である。つまり経済発展の中心である華東、華南においても水ストレス水準をкаろうじて超えている程度であり、経済発展の制約としての水問題の深刻さが想像されうる。

表1 中国の水資源（単位：億 m^3 ）

	水資源 総量	地表水	地下水	重複量	1人当たり 水資源量 (m^3)
2000	27,701	26,562	8,502	7,363	2,194
2001	26,868	25,933	8,390	7,456	2,113
2002	28,261	27,243	8,697	7,679	2,207
2003	27,460	26,251	8,299	7,090	2,131
2004	24,130	23,126	7,436	6,433	1,856
2005	28,053	26,982	8,091	7,020	2,152
2006	25,330	24,358	7,643	6,671	1,932
2007	25,255	24,243	7,617	6,605	1,916

（出所）『中国統計年鑑』（中国国家统计局，2008）

表2 2007年地域別水資源量（単位：億 m^3 ）

	水資源 総量	地表水	地下水	重複量	1人当たり 水資源量 (t)
華北	554	302	424	172	392
東北	1,100	908	413	220	1,055
華東	4,708	4,412	1,339	1,044	1,394
華南	6,158	5,991	1,654	1,487	2,085
西南	10,594	10,593	2,683	2,681	33,194
西北	2,142	2,037	1,105	1,000	3,650

（出所）『中国統計年鑑』（中国国家统计局，2008）

2.2 水汚染

水資源の少ない中国にとって、特に重要水源である地表水（河川）の管理は重要となる。とりわけ、水汚染が進む中国では、第11次5ヵ年計画の環境対策の重点は飲用水源の保護を含む水汚染対策となっている。以下、大塚（2008b）の記述から、中国の水汚染の状況を確認しよう。

2006年に水利部が水質観測を行った全国の河川総延長は約13万9,000kmである。そのうち2割を超える約3万kmの河川が、いかなる利水機能も満たすことができないほど汚染されている劣V類に相当する。

松花江、遼河、海河、黄河、淮河といった主要河川流域において飲用水源として利用できる河川延長は5割に満たない。特に北京、天津にとって重要な海河では飲用水として利用できる部分は3割ほどである。

表3 中国の廃水（単位：万 t）

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
工業廃水排出量	2,026,282.0	2,071,885.0	2,122,527.0	2,211,425.0	2,431,121.0	2,401,946.0	2,466,493.0
うち基準値到達	1,768,996.0	1,830,394.0	1,892,891.0	2,005,680.0	2,217,093.0	2,178,461.0	2,260,719.0
基準値到達率	87%	88%	89%	91%	91%	91%	92%
COD 排出量	607.5	584.0	511.8	509.7	554.7	541.5	511.1
アンモニア窒素排出量	41.3	42.1	40.4	42.2	52.5	42.5	34.1
生活排水排出量	2,302,341.0	2,322,940.0	2,470,115.0	2,612,669.0	2,813,968.0	2,966,341.0	3,102,001.0
COD 排出量	797.3	782.9	821.1	829.5	859.4	886.7	870.8
アンモニア窒素排出量	83.9	86.7	89.2	90.8	97.3	98.9	98.3

（出所）『中国統計年鑑』（中国国家统计局，各年版）および大塚（2000b，表2）より作成

水汚染対策として重要視されている海河、淮河、遼河の「三河」では利水機能を喪失した劣Ⅴ類の河川延長は約4～5割になっている。また汚染対策の重点湖沼流域となっている太湖、滇池（てんち）、巢湖の「三湖」は、Ⅴ類（農業用水などに適用される水源）または劣Ⅴ類に属している。主な汚染物質は窒素とリンであり、富栄養化が深刻な問題となっている（以上、大塚，2008b）。

中国の環境汚染対策は、廃水、廃ガス、固形廃棄物という「三廃」の排出量削減に注力されてきた。1996年に「環境保護の若干問題に関する國務院の決定」が發布されて以降、全国全ての工業汚染源について汚染物質の排出基準を満たすことが求められた。そして代表的な水質指標であるCODを含む主要な汚染物質の総量抑制が目標として設定されるようになる。それ以降、企業による自己資金調達を中心に工業廃水処理対策が進められた。また増加する生活排水対策として都市の下水処理場の整備が進められてきたのである（以上、大塚，2008b）。

実際に汚染の排出状況をみてみよう（表3参照）。中国の廃水の主役は急速な都市化に伴う生活排水である。2007年には310億 t を突破し、工業廃水247億 t をはるかに上回る。また観察期間における工業廃水の伸び率は21%，生活排水の伸び率は34%程度になっており、生活排水が汚染の主要原

因になりつつある。

事実、工業廃水の基準値到達率は改善されてきており、COD排出量、アンモニア窒素排出量もむしろ減少しているという傾向も観察される。

一方で、生活排水の中のCOD排出量は870万 t であり、工業廃水からのCOD排出量に比べて1.7倍となっている。アンモニア窒素排出量においては、工業廃水の約3倍が生活排水から排出されているのである。

2.3 需給バランス

水資源が地域で偏在していること、そして水汚染が進んでいるということから、中国では確実に水供給が制約されている。厳しい自然条件等で安定した水資源の確保が困難になり、水不足問題が深刻になっている。

この結果、水資源利用率がかなり高い。適正な利用水準を上回る開発利用が中国各地で目立つ。特に天水に頼ることが困難な地域では過剰開発が問題となっている。例えば北京、天津などの首都圏に位置し、北方の代表的な水系である海河・灤河水系の水資源利用率は1980年81%，1993年84%，1997年89%となっており、2004年では123%と過剰開発となっている（王他，2007，p. 30）

過度に高い利用率による水資源開発は、河川等の地表水の自浄能力を低下させてしまう。このこ

表4 中国の水の需給バランス（単位：億m³）

	水供給量				水使用量					1人当たり水 使用料（㎡）
	地表水	地下水	その他		農業	工業	生活	生態		
2000	5,531	4,440	1,069	21	5,498	3,784	1,139	575		435
2001	5,567	4,451	1,095	22	5,567	3,826	1,142	600		438
2002	5,497	4,404	1,072	20	5,497	3,736	1,142	619		429
2003	5,320	4,286	1,018	16	5,320	3,433	1,177	631	79	413
2004	5,548	4,504	1,026	17	5,548	3,586	1,229	651	82	428
2005	5,633	4,572	1,039	22	5,633	3,580	1,285	675	93	432
2006	5,795	4,707	1,066	23	5,795	3,664	1,344	694	93	442
2007	5,819	4,724	1,069	26	5,819	3,600	1,403	710	106	442

（出所）『中国統計年鑑』（中国国家统计局，2008）

とが汚染物の蓄積・濃縮を助長させ、良好な水質の確保が困難になる。したがって、中国の水の需給バランスは見た目以上に切迫しているといつてよい。

水の需給バランスをみてみよう（表4）。水資源自体は2007年に2.5兆tあったわけであるが、実際に利用されて供給される水は、約0.6兆t（5,819億m³）である。この水供給を支えている地表水が81%を占める。供給された水は農業、工業、生活に利用される。農業が3,600億m³（約62%）、工業が1,403億m³（約24%）、生活710億m³（約12%）である。経済発展に伴う産業構造の変化で、農業の需要量は微減、工業の需要量は増加、生活の需要量も急速に増加している。

以上の考察から水の循環をまとめてみよう。

水資源2.5兆t → 水供給（5,819億t） → 水需要
→ 排水（556億t）うちCOD排出量^{（注2）}（1,381
万t）

存在する水資源の約5分の1が供給され、農業、工業、生活の需要を満たし、供給量の約10分の1が廃水となる構図である。

2.4 第11次5ヵ年計画の環境政策

2006年3月の全国人民代表大会で行われた政府

活動報告において、第10次5ヵ年計画期間の環境面での成果が総括された。第10次5ヵ年計画期において、経済力が一層高まり生活は改善されているとしながらも、経済構造が合理的でなく、経済成長のパターンの転換が遅れ、エネルギー消費が多く、環境汚染が深刻化した、と報告された。

これを踏まえ、第11次5ヵ年計画の特徴をあげると以下の通りである。

①年平均経済成長率を7.5%とし、GDPを2005年の18兆元から2010年には26兆元にする。

②単位GDP当たりのエネルギー消費削減量を2005年消費量の20%削減する。

③単位工業生産（付加価値）当たりの水使用削減量を2005年使用量の30%削減する。

④CODを含む主要汚染物質の削減量を2005年排出量の10%削減する。

これらの実行性を高めるために、環境関連の目標（②から④）は、必ず達成することとされる「拘束性」目標とされた（以上、経済産業省，2006，pp. 141～142）。

水問題に関して第10次5ヵ年計画を振り返ると、工業廃水のCOD排出量の目標値は到達したが、生活排水の増加によりCOD排出総量抑制の目標値を達成することはできなかった。またアンモニア窒素排出量については第10次5ヵ年計画の目標値は達成した（大塚，2008b）。

目標を到達できなかった理由として、大塚(2008b)は環境保護15年計画の評価を引きながら、3つにまとめている。第1に紙関連製品の需要増加による増産に廃水処理施設の整備が追いつかなかったこと、第2に重点流域の水汚染対策事業が計画通りに進まなかったこと、第3に下水処理施設の建設の遅れと運転管理の不備である。また環境政策を有効に実施するために、ガバナンスの再構築が重要視される(大塚, 2006, 2008a, 2008b)。

ここでは詳細な環境政策までは踏み込まないが、中国の水問題は、以下のようにまとめられる。

①地理的に偏在し、元々少ない水資源の中で、汚染をどこまで減らし、供給源を確保するか。

②都市化や所得の増加に伴う水需要の拡大、その上食生活の変化による畜産、サービス産業の水需要の拡大という状況の中で需要を抑制しながらの経済発展は可能か。

③以上の根本的問題に対して、第11次5ヵ年計画にて水問題を解決できるのだろうか。

以上の水問題について、次節より産業連関モデルを用いて分析し、中国の水問題は解決可能かどうか検証していく。

3. 水問題への解決に向けて

3.1 生態系と経済活動

18世紀後半に英国で始まった産業革命は、技術革新によって急速な経済発展を可能とした。産業革命の波がアメリカに渡ると、大量生産、大量消費という社会構造が成立した。それまでは、ヨーロッパとアメリカを中心とした局地的な経済成長であったが、第2次大戦後の20世紀後半はアジアの急速な経済発展を生み、徐々に経済活動の制約として環境問題がクローズアップされるようになったのである。

環境問題の本質は生態系と人間の社会・経済

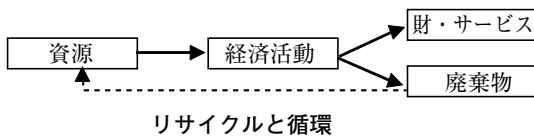
活動との摩擦である。生態系は、太陽の光、気候としての温度や湿度、降雨、歴史的に形成されてきた地形や化石資源などを人間社会に提供している。人間の社会・経済活動は生態系から提供されているさまざまな自然の恵みを利用し、そして使い終わった廃棄物を生態系に返還している。廃棄物が許容量以内であれば、生態系それ自体は廃棄物を自然に再生することができた。これにより生態系と人間の社会・経済活動は摩擦を起こすことがなかったのである。

現在の我々の社会・経済活動が生み出す廃棄物の量は生態系を破壊し、自然再生が難しい状況まで来ているといっても過言ではないかもしれない。したがって、人間がなんからの形で生態系を守る必要がある。「コモンズの悲劇」としても知られるように、農民が自分の利益を最大化するために多くの牛を公有の牧草地に放牧すれば、当然牧草地は破壊される。このため環境を保護する必要が出てくるのである。

環境を保護するには2つの方法が考えられよう。1つは政府による環境資源と経済資源の計画的配分、もっと簡単にいえば政府による規制であり、2つめは市場メカニズムの導入による外部経済の内部化、例えば排出権取引などである。

後者の外部経済の内部化を少し考えてみたい。経済活動は生態系から資源を利用して、財・サービスの生産活動に入る。生産された財・サービスは家計や企業などの経済主体に配分される。生産・消費・分配されたあと財・サービスは廃棄物として生態系に戻されるのである。このとき、生態系の自然再生能力を上回らないように、廃棄物を適正に処理すれば、再資源化が進み、次期の経済活動へと繋がる。生態系の廃棄物再資源化のサイクルと経済の生産活動サイクルを合わせること、これが持続的経済成長の枠組みになるといえる。生態系と経済活動のこのような関係が図1に示され

図1 生態系と経済活動の関係



(出所) 筆者作成

ている。

3.2 水の産業連関モデル

水の産業連関モデルを導入する前に、産業連関モデルについて、簡単に説明しておきたい。産業連関モデルは、産業と産業の投入と産出を示す表を基本とする。アパレル産業が綿花を購入(投入)し、Tシャツを生産する。そのTシャツが家計に販売(産出)される。したがって、家計の需要が増大し、Tシャツをより多く買うようになれば、アパレル産業の生産が拡大するのみならず、綿花産業の生産も拡大する。このような需要発生から生産を誘発する関係を分析するのが産業連関モデルである。

資源を投入して経済活動を行い、副産物(廃棄物)を産出する。この考えはまさに産業連関モデルにぴったりあてはまっている。本来の意味ではないが、外部経済を内部化しやすいという意味でも、環境の産業連関モデルはモデル開発初期から研究されてきた。以下、吉岡他(2003, pp. 51～61)より環境の産業連関分析史を簡単にみてみよう^(注3)。

最初の環境産業連関モデルは、産業連関分析の創始者レオンチェフによって1970年に考案された公害分析用産業連関表に端を発している。その特徴は、汚染因子の排出、天然資源の採取・採掘、汚染因子を除去する活動を産業連関表の中に取り込むこと、の3つである。

ところが、汚染因子を除去する活動を生産活動と切り離して得ることは難しいことから、一般的

図2 簡略化された「一般化」産業連関モデル

	経済活動
経済活動	
汚染因子	
天然資源	

(出所) 吉岡他(2003)の図2.4を参照して作成

には図2のような簡略化された産業連関モデル(一般化産業連関モデル)が利用される。

ここで経済活動は通常の産業間の取引を示しており、汚染因子は産業ごとに投入側に配置される。天然資源の採取と使用量も投入側に配置される。投入側の下に配置される理由は、経済活動が金額表示で示されるが、汚染因子の排出や天然資源の採掘量は種類ごとに物量表示で示されるためである。

また一方で金額・物量表示を同時に取り込み、経済活動と生態系(エコシステム)自体との取引、また生態系内部での取引を意図した完全な統合タイプの環境産業連関モデルも存在する(図3参照)。

近年では、シュターマー(2003)の物的産業連関表の中で完全統合タイプが見受けられるが、自然環境内部での取引を記述するには困難が伴うと考えられるし、吉岡他(2003, p. 56)は「これを完全に達成することは不可能である。多くの場合その一部だけが取り出されて連関関係を分析していることが多い。」としている。

さて、いよいよ水問題を分析する水の産業連関モデルについて考えてみよう。水の産業連関モデル、特に中国の水問題を分析するモデルでは、Okadera, Watanabe and Xu(2006), Guan and Hubacek(2007, 2008)の成果が出ている。ここではそのモデルを紹介し、検討したあと我々のモデルを提出する。

図4は水の産業連関モデルの概念図を示している。Okadera, Watanabe and Xu(2006)およびGuan

図3 完全統合の環境産業連関モデル

	経済活動	生態系
経済活動		
生態系		

(出所) 吉岡他 (2003) の図2.5を参照して作成

and Hubacek (2007) のモデルでは、水の需要（天然資源の採取）と汚染水の排出（汚染因子）が表に取り込まれている。汚染水の排出は産業からの産出という意味を示しているため、右側に置かれているが、図2のように投入側の下に置いておかまわらない。したがって図4は、図2同様簡略化された環境産業連関モデルの1つである。一方、Guan and Hubacek (2008) では第4象限に生態系を入れた水の完全統合型産業連関モデルを提案した（図4中の第4象限の点線で示されたマトリックス）。このマトリックスの中には対角に（つまり地表水から地表水、地下水から地下水へ）数値が存在している。ここは自然再生分を示しているが総投入と総産出の関係が曖昧であり、また分析もそのマトリックス単独で行われているため、吉岡他 (2003) のいう「一部の連関関係の分析」になっている。

以上の問題から、我々が用いる水の産業連関モデルはOkadera, Watanabe and Xu (2006) およびGuan and Hubacek (2007) のモデルを踏襲することとする。

さて、以上から水の産業連関分析モデルの構造は以下になる。

$$W^C = \hat{R}^{WC} (I - A)^{-1} F$$

$$W^P = \hat{R}^{WP} (I - A)^{-1} F$$

$(I - A)^{-1}$ と F は一般の産業連関分析に用いられるレオンチェフ逆行列と最終需要である。この関係は、最終需要が発生するとレオンチェフ逆行列

図4 水の産業連関モデル [概念図]

中間財	最終需要	汚染水の排出
付加価値		
水の需要		生態系 (自然再生)

(出所) 筆者作成

が示す産業間の乗数効果が働き、各産業の生産を増加させることを示している。

左辺の W^C は水の需要量であり、 m^3 （立方メートル）という物量で記載されている。 W^P は水の汚染量であり、COD排出量が用いられる。単位はtである。

右辺の $(I - A)^{-1} F$ が金額表示、左辺が物量表示になってしまうので、金額から物量表示に変換するために、水需要量を総生産額で割った水需要係数、水の汚染量を総生産額で割った水汚染係数を以下のように導入する。

$\hat{R}^{WC}$ 水消費係数

$\hat{R}^{WP}$ 水汚染係数

（式中のハットは対角行列を示す）

したがってモデルの意味は、最終需要によって総生産額が増加し、その結果水の需要量がいくらになるか、また水の汚染排出がどうなるかを計測することとなる。

3.3 中国の水問題と経済活動

分析にあたってはアジア経済研究所で進んでいる2005年アジア国際産業連関表のプロジェクトで推計された2005年中国延長表（76部門）を用い、それを15部門に統合した。また水需要係数と水汚染係数については、2000年のもの（Okadera, Watanabe and Xu, 2006）を2005年に延長推計した。

部門と水需要係数と水汚染係数は以下の通りで

表5 部門、水需要係数と水汚染係数

		水需要／総 産出額 (万㎡／万元)	COD 排出量 ／総産出額 (t／万元)
1	農林水産業	0.0942	0.5021
2	鉱業	0.0019	0.0004
3	食品加工	0.0016	0.0036
4	繊維	0.0011	0.0010
5	その他軽工業	0.0047	0.0086
6	化学	0.0035	0.0023
7	非鉄金属	0.0011	0.0002
8	金属製品	0.0023	0.0004
9	機械・電気機械	0.0003	0.0001
10	その他製造業	0.0041	0.0065
11	電気ガス	0.0386	0.0050
12	水道	0.5322	0.2554
13	建設	0.0008	0.0012
14	商業	0.0014	0.0033
15	サービス	0.0015	0.0039

(注) 水需要は『中国統計年鑑』、『中国水資源広報』の公表値をもとに推計した。COD排出量は、工業部門とサービス業は『中国環境年鑑』のCODデータから推計し、農林水産業は「流域下水道総合計画」および農業総合研究センターの参考値をもとに推計した。詳細推計は2000年を対象として行い、2005年に延長推計した。

(出所) 筆者推計

ある(表5参照)。ここから以下のことがいえる。

①水需要と水の汚染では農業部門と水道部門(およびその利用後の生活排水)が主体である。

②工業部門の水需要・水汚染では、電気ガス、製紙業を含むその他軽工業が目立つ。

さて、以上のデータから、まず中国経済と水需要／水汚染の構造を明らかにする。表6は産業連関モデルを用いて、最終需要が各部門において1万元発生したときに、必要となる水の水需要量とCOD排出量を求めたものである。最終需要が各部門に1万元(合計15万元)発生したとき、水の水需要は1.04万㎡、CODの排出は1.75t発生する。そして、経済における水の水需要と汚染の中心的産業は農業であることがわかる。農業に1単位の水最終需要が発生すると2,555㎡の水需要が発生し、CODは1.36t排出されるのである。特に汚染の重点は農業であることがわかる。工業部門でみれば、

表6 中国経済と水需要／水汚染構造

	水需要量 (万㎡)	COD 排出量(t)	水需要量 (%)	COD 排出量(%)
1	0.2554	1.3607	24.5	77.8
2	0.0075	0.0018	0.7	0.1
3	0.0027	0.0061	0.3	0.4
4	0.0024	0.0022	0.2	0.1
5	0.0110	0.0202	1.1	1.2
6	0.0211	0.0138	2.0	0.8
7	0.0019	0.0004	0.2	0.0
8	0.0107	0.0017	1.0	0.1
9	0.0015	0.0004	0.1	0.0
10	0.0057	0.0091	0.5	0.5
11	0.1127	0.0144	10.8	0.8
12	0.5965	0.2863	57.2	16.4
13	0.0010	0.0015	0.1	0.1
14	0.0058	0.0137	0.6	0.8
15	0.0063	0.0165	0.6	0.9
合計	1.0420	1.7488	100.0	100.0

(注) 最終需要1万元当たりの水需要とCOD排出量を示している。なお、表側番号は表5の産業部門を表している。

(出所) 筆者作成

電気ガス、水道を除いて、化学やその他軽工業の水需要と水汚染が大きい。化学は、水需要は大きいものの水汚染の度合いは小さいようである。これは化学産業のような装置産業では比較的廃水処理設備が導入されやすいということかもしれない。

水需要／水汚染をもたらすのはどの最終需要項目かという観点から計算したのが誘発依存度である(表7参照)。これをみると、水需要と汚染のうち34%が都市住民による消費によって発生している。農民と都市住民全体では52%となり、家計消費が水需要と水汚染を最も左右するということがいえる。農業においてもその傾向があるが、工業部門は往々にして資本形成による誘発が大きい。即ち工業部門の拡大は投資を呼び、それが水の水需要と汚染を拡大させており、家計所得の増大も水需要と汚染をさらに拡大させるという構図が読み取れる。

ところで、農産物貿易を介して水を輸出入して

表7 水需要／水汚染の誘発依存度

	農村消費 (%)	都市消費 (%)	政府消費 (%)	資本形成 (%)	在庫 (%)	輸出 (%)	輸入 (%)	誤差項 (%)	総産出 (%)	水需要量 (億m)	COD排出量 (1,000 t)
1	22.6	35.5	5.5	23.7	5.0	17.1	-13.7	4.2	100.0	3,593.5	518,938.0
2	10.8	33.5	12.6	66.0	1.9	62.7	-86.6	-0.7	100.0	39.3	369.1
3	19.3	42.1	6.5	8.9	13.3	15.4	-10.4	5.0	100.0	41.2	1,590.6
4	6.4	27.1	3.9	9.7	0.3	66.8	-17.4	3.2	100.0	32.0	622.3
5	8.8	26.8	13.5	43.6	1.8	48.8	-35.2	-8.1	100.0	72.6	3,155.6
6	10.4	28.7	10.1	50.2	1.7	58.3	-55.7	-3.8	100.0	191.6	7,564.0
7	3.8	13.0	4.6	69.4	1.7	23.3	-15.8	-0.1	100.0	16.9	57.6
8	5.9	18.7	7.1	66.8	0.8	66.7	-60.5	-5.5	100.0	102.5	762.9
9	5.2	17.0	6.4	63.2	0.5	63.1	-52.9	-2.6	100.0	30.2	325.5
10	6.5	26.2	6.9	49.2	2.7	82.3	-70.9	-3.0	100.0	33.6	749.6
11	9.0	32.3	10.7	41.2	1.5	37.8	-35.8	3.3	100.0	755.9	2,826.6
12	10.1	41.5	13.2	35.9	1.4	32.5	-29.5	-5.1	100.0	521.4	2,805.0
13	0.8	2.6	2.2	99.2	0.1	1.6	-1.4	-5.1	100.0	34.7	624.9
14	9.7	28.1	9.0	38.9	2.2	29.3	-25.2	7.8	100.0	68.8	6,663.6
15	9.5	31.9	32.3	22.2	0.6	14.2	-11.9	1.1	100.0	152.5	16,816.5
合計	17.7	34.4	8.0	30.3	3.8	25.1	-21.7	2.4	100.0	5,686.5	563,872.0

(注) 水需要量は億m, COD排出量は1,000 tである。表側番号は表5の産業部門を表している。

(出所) 筆者作成

いるという考え方は「バーチャルウォーター貿易」と呼ばれる。全体の水需要量と水汚染量のうち、輸出が25%であり、輸入が22%である。したがって水のバーチャルウォーター貿易では、輸出が輸入より多いので、水不足の中国でも水の輸出国とすることができる。水汚染でいえば、輸出により汚染発生量が輸入による汚染発生量を上回っているため、汚染の輸入国となる。純輸出による誘発依存度が3%なので、ここからバーチャルな水と汚染の純輸出を計算すると、水純輸出171億m, 汚染純輸入は1,692万tであると計算することができる。

3.4 第11次5ヵ年計画達成に向けての課題

第11次5ヵ年計画のポイントは経済発展を続けながら（毎年の成長率7.5%）、環境負荷を押さえる（エネルギー消費を削減し、汚染の排出を削減する）というものであった。そこで、ここではシミュレーション分析を行う。

基本モデルは以下のようになる。

$$\Delta W = \hat{R}(I - A)^{-1} \Delta F$$

まず経済発展が順調にいったとして、その分だけ支出面でのGDPは拡大する(ΔF)。その時にこの5年間に必要となる水の需要量および排出するであろう汚染の量(ΔW)を計測する。つまり5年間の経済拡大で必要となる水需要量、排出するであろう汚染量を計測しておくのである。

なお、支出面のGDP(最終需要)の構造は2005年と同じものとするもの(シナリオ1)と、構造が少し変化したもの(シナリオ2)の2つを用意した。特に構造変化では、第11次5ヵ年計画でGDPに占めるサービス産業の割合を40～43ポイントに拡大することを目指していることを鑑み、農業のシェアが1%縮小し、サービス産業が1%拡大(工業は不変)するという産業構造を考えた(シナリオ2)。つまり少しの構造変化でどれくらい経済が反応し

表8 シナリオ分析の結果

	シナリオ 1		シナリオ 2		感度分析 (削減量)	
	水需要量 (億m ³)	COD 排出量 (1,000 t)	水需要量 (億m ³)	COD 排出量 (1,000 t)	水需要量 (億m ³)	COD 排出量 (1,000 t)
1	1,498.9	79,870.1	1,411.6	75,215.0	87.4	4,655.1
2	17.2	40.9	17.3	41.0	0.0	-0.1
3	17.0	383.7	17.0	383.4	0.0	0.3
4	13.5	122.8	13.5	123.1	0.0	-0.3
5	34.2	628.5	34.4	631.8	-0.2	-3.3
6	86.6	567.3	86.6	567.1	0.0	0.2
7	7.4	14.6	7.4	14.6	0.0	0.0
8	47.1	76.4	47.2	76.6	-0.1	-0.2
9	13.5	32.5	13.6	32.5	0.0	-0.1
10	15.1	239.1	15.1	239.8	0.0	-0.7
11	318.6	408.3	319.5	409.4	-0.9	-1.2
12	238.7	1,145.6	240.0	1,151.8	-1.3	-6.2
13	15.9	240.2	15.9	240.5	0.0	-0.3
14	27.6	654.6	27.6	654.8	0.0	-0.2
15	65.7	1,729.9	67.1	1,766.9	-1.4	-37.0
合計	2,416.9	86,154.4	2,333.6	81,548.4	83.3	4,606.1
毎年	483.4	17,230.9	466.7	16,309.7	16.7	921.2

(注) 表側番号は表5の産業部門を表している。

(出所) 筆者作成

ているかをみる一種の感度分析を試みている。

さて、表8からシナリオ分析の結果をみてみよう。経済が計画通り拡大していくと、5年間の追加的水需要は2,417億m³（年間483億m³）であり、5年間予想される追加的COD排出量は8,615万t（年間1,723万t）となる。つまり経済が拡大することによって、当然のことながら水の需要と汚染は拡大する。

一方で農業のシェアが縮小し、サービス産業のシェアが拡大するというシナリオ2のケースをみると、農業が水需要／汚染の重要対象産業であるので、削減が大きく可能となっている。水需要は83.3億m³（うち農業は87.4億m³）削減でき、水汚染は461万t（うち農業は466万t）削減することができる。これらは2005年の水需要量1.47%、COD排出量の3.3%であるので、第11次5ヵ年計画の目標を達成するためには、産業構造の高度化がカギとなる。計画が目指すようにサービス産業の

シェア3ポイント拡大が農業部門からであるとする、水需要量は約4.5%程度削減可能となるが、水需要削減目標が30%であるため目標達成は楽観的ではない。しかし、COD排出量は約10%削減可能となるので、第11次5ヵ年計画の目標の10%は達成可能かもしれない^(注4)。この意味で環境対策のみならず産業構造を節水型にするという選択肢もありうるといえるだろう。

次に、実際に節水型技術を各産業が導入して水需要を削減し、そして汚染対策が功を奏してCOD排出量が削減できるというシナリオを考えてみよう。このシナリオでは、各産業が節水技術を導入したことによって同じ生産量でも水需要が1%削減し、COD排出量も1%減少したと考える。即ちモデルのRをパラメーターとして変化させてみた。結果は表9に示されている。

各産業が節水技術を習得して1%節水に成功し、排出削減が1%可能となった場合、24億m³（うち農

表9 節水／排出削減の分析

	オリジナル		節水／排出削減		削減量	
	水需要量 (億㎡)	COD 排出量 (1,000 t)	水需要量 (億㎡)	COD 排出量 (1,000 t)	水需要量 (億㎡)	COD 排出量 (1,000 t)
1	1,498.9	79,870.1	1,484.0	79,071.4	15.0	798.7
2	17.2	40.9	17.1	40.5	0.2	0.4
3	17.0	383.7	16.9	379.8	0.2	3.8
4	13.5	122.8	13.3	121.6	0.1	1.2
5	34.2	628.5	33.8	622.2	0.3	6.3
6	86.6	567.3	85.7	561.6	0.9	5.7
7	7.4	14.6	7.3	14.4	0.1	0.1
8	47.1	76.4	46.6	75.7	0.5	0.8
9	13.5	32.5	13.4	32.1	0.1	0.3
10	15.1	239.1	14.9	236.8	0.2	2.4
11	318.6	408.3	315.4	404.2	3.2	4.1
12	238.7	1,145.6	236.3	1,134.1	2.4	11.5
13	15.9	240.2	15.7	237.8	0.2	2.4
14	27.6	654.6	27.3	648.0	0.3	6.5
15	65.7	1,729.9	65.0	1,712.6	0.7	17.3
合計	2,416.9	86,154.4	2,392.8	85,292.9	24.2	861.5

(注) 表側番号は表5の産業部門を表している。

(出所) 筆者作成

業が15億㎡) 節水される。そしてCOD排出量は86万t (うち農業が80万t) 削減される。これらは第11次5ヵ年計画の目標値(水需要1,689億t 削減)にはほど遠いが、COD排出量は目標141万t 削減^(注5)なので、汚染の抑制については可能性が存在するといえる。

4. おわりに

中国の水問題は、元来少ない水資源が地理的に偏在しており、それらが汚染されつつあるという状況の中で、経済発展に伴う水需要拡大を抑制しながら水の需給バランスを図らなければならないということに集約される。

本稿では、中国の水問題を概括するとともに、環境産業連関モデルの流れから水の産業連関モデルを提示し、第11次5ヵ年計画の環境目標の実現可能性について検討した。その結果、技術的に水需要を削減する技術を各産業が身につけるのは難

しいこと、しかしCODの排出量削減では農業部門のCOD排出量削減効果が大きいので、農業部門を考慮に入れば、十分達成可能であることを示した。それ以上に、水問題の要である農業部門の縮小・サービス産業のシェア拡大という産業構造高度化は水問題解決の1つのアプローチになることを示した。とはいえ、今後まだまだ課題は多い。

1つは急増する生活排水をどのように産業連関モデルに導入するかという問題がある。おそらく家計内生化によって所得上昇→生活排水の増加という形で取り込むべきかもしれない。

また、農業部門が水問題の主役であるならば、農業内部での部門細分化によって、より一層詳細な分析が可能となるかもしれない。特に畜産業は肉食の増大による水需要の増加が考えられるので、単独産業にすべきかもしれない。

最後は、水のバーチャル貿易である。地域間産業連関モデルや国際産業連関モデルを利用するこ

とによって、水の貿易を明示的に扱うことが可能かもしれない。特に水が地域的に偏在する中国では地域間産業連関モデルの取り組みが必要であろう。

注

- (注1) したがって井村（2007）でもいわれているように、中央政府による水資源の配分能力の強化や取水許可証の取引などが導入されてきている。
- (注2) 表3にも明らかなように、ここでは農業部門からの廃水は含まれていない。表5では係数しか示していないが、農業部門からのCOD排出量は約1.9億tと推計されている。
- (注3) 詳細はMiller and Blair(1985)を参照。
- (注4) しかし、第11次5ヵ年計画で、農業を含まない工業・生活排水からのCOD排出削減が目標である場合、この結果は条件付きとなる。なぜならサービス、工業部門の拡大ゆえに、これらの部門のCOD排出量は増加するからである。
- (注5) 表3でみた農業を含まない工業・生活排水からの産出されたCOD排出量削減目標。大塚（2008b）ではこの数値が削減目標であるとしている。

参考文献

- 井村秀文（2007）『中国の環境問題 今なにが起きているのか』化学同人
- 大塚健司（2008a）「中国の環境政策とローカルガバナンス」『アジア研ワールドトレンド』第149号，2008年2月号，日本貿易振興機構アジア経済研究所，pp. 18～21
- 大塚健司（2008b）「中国の水汚染対策－第11次5ヵ年計画期の動向と課題」，『東亜』No.492，2008年6月号，財団法人霞山会，pp. 32～43
- 王腊春，史運良，王棟，張興奇編（2007）『中国水問題』東南大学出版社
- 経済産業省編（2006）『通商白書2006 「持続する成長力」に向けて－グローバル化をいかした生産性向上と「投資立国」－』ぎょうせい
- 経済産業省編（2008）『通商白書2008 新たな市場創造に向けた通商国家日本の挑戦』日経印刷
- 吉岡完治，大平純彦，早見均，鷺津明由，松橋隆治（2003）『環境の産業連関分析』日本評論社
- シュターマー編著（良永康平訳）（2003）『持続可能な社会への2つの道－産業連関表で読み解く環境と社会・経済－』ミネルヴァ書房
- Guan, Dabo and Klaus Hubacek (2007) "Assessment of Regional Trade and Virtual Water Flows in China," *Ecological Economics*, 61, pp. 159-170.
- Guan, Dabo and Klaus Hubacek (2008) "A New and Integrated Hydro-Economic Accounting and Analytical Framework for Water Resources: A Case Study for North China," *Journal of Environmental Management*, 88, pp. 1300-1313.
- Miller, R. and P.D. Blair (1985) *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Okadera, T., M. Watanabe, and K. Xu (2006) "Analysis of Water Demand and Water Pollutant Discharge Using a Regional Input-Output Table: An Application to the City of Chongqing, Upstream of the Three Gorges Dam in China," *Ecological Economics*, 58 (2), pp. 221-237.