

44. 中国の長期的水需要予測

LONG-TERM FORECASTS OF WATER RESOURCE DEMAND IN CHINA

金子 慎治* ・ 三枝 裕司* ・ 松本 亨* ・ 井村 秀文*
Shinji KANEKO*, Yuji MIEDA*, Toru MATSUMOTO*, and Hidefumi IMURA*

ABSTRACT; Water resource demand in China is exhibiting a remarkable increase; the amount used for agriculture, industry and urban life is only to increase as its economy expands. Stable water supply will be crucial for China to achieve sustainable development in the coming century. Shortage in agricultural water, in particular, might affect not only the food productivity in China but also the world grain market due to the large food demand for supporting her population. This paper studies the long-term water supply and demand forecasts in China. First it presents a study framework for analyzing the water demand and its long term perspectives. Then water demand in each province is estimated up until 2050 assuming that the present trend will be maintained (BaU scenario). Comparing the results with the data of regional water resource endowment, it is shown that provinces in eastern and north-eastern China are likely to face increasingly serious water shortage problems by 2050.

KEYWORDS; water demand, water resources, long-term forecasts, China

1. はじめに

中国の降水量は、世界平均値800mm（年平均値）に対して640mmであり、決して乾燥した国とは言えない。しかし降水量がほとんどゼロに近い地域と、2,000mmを超える湿潤な地域があるなど水資源の偏在性が大きいことが特徴といえ、これが水供給における困難な状況をつくりだしている^{1), 2), 3), 4)}。

国全体の水使用状況を用途別にみると、1991年時点で農業用水86.1%、工業用水11.4%、都市生活用水2.5%であり、農業用水が大きな位置を占めている¹⁾。近年、人口増加に対応するための食料増産が国策とされ、農業の近代化に向けて灌漑が進められている。その結果、農業用水の需要は今後さらに増えるものと予想される。

一方、近年の急激な経済発展は同時に工業化と都市化をもたらしている。しかもそれは、人口の過密な一部の地域（東部沿海地域）に偏っている。この急激な工業化・都市化にともない、工業用水・都市生活用水などの需要が大幅に増大することが予想されている。このように水需要の地域的・構造的な変化が進行することにより、局所的には極めて深刻な水不足が起こることが懸念されている。

中国は広大な国土を有し、黄河、長江という二本の巨大河川がその中を貫いている。それらの河川水をいかに利用するかが水供給におけるポイントの1つであり、そのためには非常に大きな空間的視野が必要である。わが国のように比較的均質な降水量と急峻で短い河川を利用する場合とは事情が異なる。たとえば、長江の水を華北地域に導水するプロジェクトである「南水北調」は、大規模な地域間調整が必要とされる中国特有の事情を端的に示すものであろう。また、中国の場合、農業用水の占める位置が大きいことは前述したが、この問題は単に都市レベル、流域レベルで解決できる問題ではない。農業用水の逼迫は農業生産性の低

*;九州大学工学部環境システム科学研究センター

Institute of Environmental System, Faculty of Engineering, Kyushu University

下を招き、国内の穀物不足と穀物輸入を余儀なくされる。その結果、世界的規模で穀物市場に影響を与えることが指摘されている⁵⁾。つまり、中国にとっての水需給問題は、食糧生産と同様、将来的には深刻な国家レベルの問題と位置づけられる可能性がある。そのため、都市や流域レベルでの短期・中期の分析とともに、よりマクロな視点から長期的な水需給バランスを論じることが重要であるといえる。

水需給バランスを評価する分析フレームを図1に示す。フレームは、大きく供給モジュールと需要モジュールに大別することができ、供給モジュールは、さらに水資源賦存量推計モジュールと供給可能量推計モジュールに分けることができる。水資源賦存量推計モジュールは主として自然現象によって構成されるが、供給可能量モジュールは水資源開発のための社会資本整備により構成されている。ここでは、長期的には気候変動による降水パターンの変化や、インフラ整備のための資金需要まで考慮する必要がある。また需要モジュールは、人間活動により構成されるが、生活水準の向上による水需要増加や、産業の技術水準向上による水消費原単位低減等が考慮される必要がある。空間レベルとしては、国レベルから都市レベルまで様々であるが、どのレベルにおいても基本フレームは同様となる。

本研究は、図1の評価フレームにおいて中国の長期的水需給バランスを予測することを最終的な目的に据え、まず水資源に関する現状を概観する。さらに、需要モジュールについて、社会変化とそれともなう水需要の増加をBaUシナリオを用いた、省単位でのモデル化を行う。最後に、省ごとに水需要量の変化と水資源賦存量とを比較し、水需給に関する危険度を評価する。これにより、水の水需給バランスの不均衡をマクロ的に評価することができる。

ただし、本論では供給側の制約による影響は考慮されていない。また、水質悪化による水供給可能量への影響についても評価の対象外とする。これらについては、今後の水需給総合評価モデルを開発する上での課題と認識している。

2. 中国の水資源に関する概観

2.1 地表水

水利電力部水利水電規劃設計院よれば、中国の地表水総量は27,115億m³、地下水総量は8,288億m³で、重複計算量を除いた水資源量総量は28,124億m³である。水資源総量は世界第6位であるが、国民一人当たりでは世界平均の4分の1に過ぎない^{2), 4), 6), 7), 8), 9), 10), 11), 12)}。

また、表1、表2に示すように水資源の分布や降水には大きな地域的偏りがある。流域別にみると、水資源量で長江流域が1位で、次いで西南諸河、珠江・華南諸河、東南諸河流域となっている。降

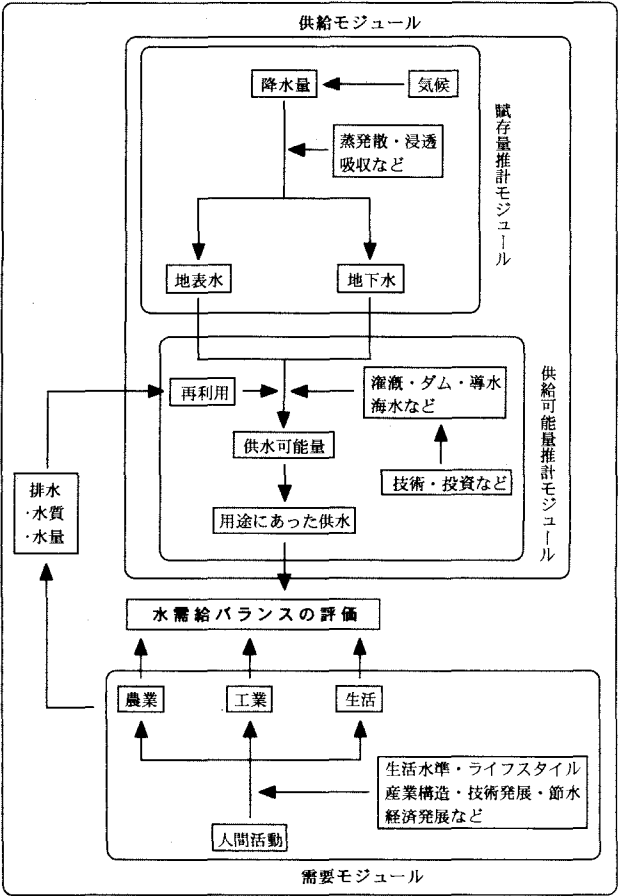


図1 水需給に関する評価フレーム

表1 年平均水資源総量 (億m³)

流域	地表水資源量	地下水資源量	重複計算量	水資源量
松花江・東北諸河	1,652.9	624.9	349.3	1,928.5
海河	287.8	265.2	131.8	421.2
淮河・山東半島諸河	741.3	393.0	173.4	960.9
黄河	661.5	405.8	323.6	743.7
長江	9,513.0	2,464.2	2,363.9	9,613.3
珠江・華南諸河	4,685.0	1,115.5	1,092.4	4,708.1
東南諸河	2,557.0	613.1	578.4	2,591.7
西南諸河	5,853.1	1,543.8	1,543.8	5,853.1
内陸諸河	1,163.7	862.2	722.0	1,303.9
全国	27,115.3	8,287.7	7,278.6	28,124.4

出所：水利電力部水利水電規劃設計院『中国水資源利用』，p.26

表2 1956～1979年平均年降水量

流域	年降水量(mm)	全国比(%)
松花江・東北諸河	510.8	78.8
海河	559.8	86.3
淮河・山東半島諸河	859.6	132.6
黄河	464.4	71.6
長江	1,070.5	165.1
珠江・華南諸河	1,544.3	238.2
東南諸河	1,758.1	271.1
西南諸河	1,097.7	169.3
内陸諸河	157.7	24.3
全国	648.4	

出所：水利電力部水利水電規劃設計院『中国水資源利用』，p.20

水量では、国土の南部に位置する東南諸河、珠江・華南諸河流域では1,500 mmを越えているが、北部に位置する海河、松花江・東北諸河流域では500 mm台で、黄河流域では400 mm台である。

中国の水資源総量は80.4%が長江流域およびそれより南の地域に集中しているが、そこに全国人口の53.5%が住み、農地の35.2%が存在する³⁾。これに対し、長江より北の地域に存在する水資源総量はわずか19.5%である。そこに全人口の46%が住み、農地の64.8%が存在する。また降水量の季節的変化が激しく、北京市ではほとんどの降雨が6月から9月にかけてもたらされる^{6), 13), 14)}。また年次的変化が極めて大きいという特徴もあり、年によって240 mmから1,400 mmという差がある^{4), 11)}。

2. 2 地下水

表3は1980年における地下水の使用状況である。全国で総用水量のおよそ14%が地下水でまかなわれている。長江から北の地域では、用水量の4分の1以上が地下水である。海河流域に至っては、50%を超えている。

華北平原での地下水利用を例にとってみる。華北平原は面積26万km²、人口7,000万（1988年時点）で、中国経済の上で最も重要な地域である¹⁵⁾。比較的厚い砂層の堆積であるので、地下水の開発は容易であり、多くは灌漑用水として利用されている。浅い地層の総地下水量は476億m³であるが、このうち利用可能量は約380億m³であり、利用されているのは72%の275億m³である¹⁹⁾。また、利用可能な地下水量の推計方法については、160億m³から220億m³という推計値も報告されており¹⁴⁾、推計手法やデータの精度など不確実な部分も残されている。

地下水の利用可能量の評価は1950年代初期から行われていたが、当時、地下水はどんなに汲み上げても、何の問題も引き起こさないとされていた。1970年以来、華北では多数の井戸が掘削され、1980年以来干ばつが以前よりひどくなったため、過剰とも言える地下水の開発が行われた。その結果、地下水位の継続的な低下と地下水の枯渇が起こり、地盤沈下、地下水の塩水化が起こった^{4), 10), 13), 16), 18), 19)}。特に、華北における地盤沈下は深刻であり、主として天津、北京、太原などで起こっている¹⁷⁾。天津市の地盤沈下は全市に及んでおり、最大沈下量は2.59 mに及び、10 km²以上の地域にわたって2 m以上もの沈下がみられる。北京市では、最大沈下量は0.59 mに達し、沈下は600 km²以上の地域に及ぶ。

地表水と浅層地下水の枯渇した地域では、高フッ素深層地下水を開発した。その結果、飲料水が汚染され、風土病のフッ素中毒症が引き起こされた¹⁷⁾。特に、滄州ではF⁻濃度が1 mg / l以上の高フッ素深層地下水により、深刻な人体影響が報告されている。

2. 3 水質汚濁

表4は最近の廃水排出状況を表したものである。1995年の廃水排出総量は372.9億トンであるが、そのうちの工業廃水は221.9億トン、処理率は76.8%である。処理率は徐々に増加している。

工業の発展と人口の増加により、ますます大量の汚染された排水が自然系へと放出され、中国の水質汚濁は深刻化している^{4), 11)}。中国では廃水の大部分が未処理のまま河川および湖沼に流されており、水資源の水質悪化の原因となっている^{9), 10)}。特に、地表水へ与える影響は直接的であり、迅速な対応が求められている。また、中国の河川は長く、上流で汚染された水を下流で使用するため、広範囲で汚染が広がることとなる。

全国の878個所に及ぶ河川の水質調査によれば、長江や黄河などの主要河川の水質は比較的良好であるが、都市内の河川では、都市下水の排出口周辺からの汚染が徐々に広まりつつある¹¹⁾。特に大・中都市を流れる河川の汚染が進んでいる。中国全土にわたり、総計5万kmにおよぶ河川調査を行った結果、飲用水と漁業用水標準値を満たしているのは約14%、地表面水の水質基準に適合するのが約32%、著しく汚染して灌漑にも使わない部分が約25%で、そのうち約5%の河川には魚もエビも存在していないという報告がされている

表3 地下水使用状況（1980年）

流域	地下用水量(億m ³)	全国比(%)	総用水量比(%)
松花江・東北諸河	84.86	13.7	23.99
海河	202.44	32.7	52.74
淮河・山東半島諸河	128.93	20.83	24.27
黄河	84.41	13.63	23.55
長江	67.62	10.82	4.95
珠江・華南諸河	6.12	0.99	0.93
東南諸河	5.09	0.82	2.64
西南諸河	0.67	0.11	1.53
内陸諸河	39.46	6.3	7.06
全国	619	100	13.95

出所：水利電力部水利水電規劃設計院『中国水資源利用』，pp.216～226

表4 工業廃水排出状況

	1991	1992	1993	1994	1995
廃水排出総量(万トン)	3,362,054	3,587,835	3,555,888	3,652,546	3,728,508
工業廃水排出総量(万トン)	2,358,687	2,338,534	2,194,919	2,155,111	2,218,943
工業廃水処理量(万トン)	1,559,112	1,759,176	1,793,426	1,984,520	2,156,615
工業廃水処理率(%)	63.5	68.6	72.0	75.0	76.8
調査企業数	71,858	69,804	68,715	67,956	70,177

出所：中国環境年鑑社『中国環境年鑑』，各年版

9). 18)。また、下水道の普及率が低いため、家庭排水、農業排水、工業排水を汚染源とする湖の富栄養化が観測されている。さらに、それらの排水が直接地下に浸透するため、地下水への影響も顕在化している⁹⁾。多くの都市の地下水の水質は現在のところ比較的良好とされているが、幾つかの都市では汚染が進んでいることがわかってきている。地下水の汚染のため、多くの地方の井戸水で標準値をはるかに越えてる有機性の毒性物質が検出された。また、硝酸性窒素についての調査報告によれば、調査対象32都市のうち、24都市で標準値を越す結果となっており¹⁸⁾、このような標準値の超過率は年々増加している。

2. 4 水資源管理

前述のような諸問題の対応策の現状と課題についてまとめる。

(A) 農・工業における水資源節約

農業においては節水のための改善の余地が大いにある。中国では多くの地域での農業技術が先進国に比べ遅れている。例えば、中国の幾つかの地域では、小麦の灌漑に単位面積当り6,000–8,000 m³/haの水が使われるが、小麦の灌漑は1,800 m³/haの水で済むとの指摘もある¹¹⁾。野菜についても同様で、灌漑システムの改善で用水量は6,000 m³/haから3,750 m³/haまで減らすことができる。プラスチック管送水や水路の整備によって、水利用の効率性は少なくとも現状の10–20%程度高まると見積もられている^{14), 21)}。

また工業においても節水の余地は大きい。中国の冶金工業の水使用量は、先進国における水使用量と比較すると、5–6倍にもなっている¹⁵⁾。鉄鋼業においては、中国全体の平均で単位生産量当り70–100 m³/トンの水を使用しているが、国内の先進工場では7–25 m³/トンである。さらに先進国と比べると、アメリカでは4 m³/トン、フランスでは3.75 m³/トン、日本では2.1 m³/トンとまだまだ改善の余地が大きいことがわかる。工業において水の消費量を減らす対策は、技術や設備の改善、水の循環率の向上、生産工程の管理強化などが挙げられる^{11), 21)}。

(B) 水資源の適切な管理と利用

水の合理的利用のためには、適切な管理が必要とされる^{22), 23)}。その適切な管理として、まず、水供給にかかる費用よりも安く設定されている水の価格を高くするということである。現在、水の価格は非常に安く、質にあった価格制度、割当制度を実施すべきである^{8), 12), 16)}。また、現存する貯水池は適切に統制されておらず、降雨量が多い年には洪水を避けるため、貯水池に溜まった大量の水を海へ放出しなければならない。例えば、その放出すべき水を人工的に地下へ注入することにより、乾期や降雨量の少ない年に利用することができるようになる^{13), 18)}。

(C) 新しい水資源の開発と調整

沿海部の都市で一部の産業においては、海水を冷却水として利用できる（青島、大連は海水の利用が進んでいる地域である）。しかし、他の先進国と比較すると利用率には大きな開きがある^{2), 15)}。河北平野の汽水資源については、錆び止め問題を解決することによって、工業における冷却水としての利用が可能となる。また、工業用水の再利用技術・廃水利用技術の開発・改善促進の徹底が求められる¹⁶⁾。再利用の用途としては農業の灌漑用水、冷却・洗浄・製造工程での工業用水、公園の灌漑・道路の洗浄・洗車などでの都市生活用水、地下への注入などがある。その際の注意点は、様々な目的にあったそれぞれの水質での使用のマスタープランを作ること、配水網・下水網・排水の浄化施設の整備、などが挙げられる。また、北部地域の水資源の不足への対応として、長江から導水という大規模な計画がある^{3), 4), 19), 20)}。導水路は西部、中央、東部の3ルート案（南水北調）があり、中央ルートと東部ルートは長江から黄河までの導水を可能にしている⁷⁾。しかし、北京や天津への導水はまだである。

3. 水需給バランスに関する既往研究

短期水需給予測については中国政府などによる研究例を中心にいくつかあるが、長期予測・中長期予測についてはあまり多いとはいえない。長期需要については、中国科学院¹⁾、レスター・ブラウン⁵⁾などが代表的である。また、地球温暖化への関心の高まりによって、GCMs (General Circulation Models) を用いた降水量の予測研究は活発である。しかし、供給について長期的に予測した例は、Jia-di Yu らによる水供給の中長期予測²⁴⁾があるものの、予測方法については検討の余地がある。

中国科学院による水需要の予測は、農業用水、工業用水、都市生活用水の3用途の予測を2050年までの長期で行われている。農業用水については2050年までに灌漑面積が全国で1980年時点の4,867万haから6,450万haまで増加し、灌漑技術の発展により1980年時点で9,600 m³/haであった単位灌漑面積当たりの灌漑用水量も2050年までに6,445 m³/haまで減少すると予測され、その結果、農業用水の総需水量は1980年時点の4,604億m³から4,157億m³まで減少すると予測されている。工業用水については節水技術の向上や節水管理の強化、循環水の利用の増加（2050年までに循環率85%への引き上げ）などから、単位生産額当たりの水使用量の減少（1990年時点で396 m³/万元が2050年で70 m³/万元）が予測され、工業用水量は1990年時点の500億m³から2050年には3,436億m³になると予測されている。都市生活用水については、人口増加と用水普及率アップに伴う用水人口の増加（1990年時点で1.8億人が2050年で8億人）と一人当たり生活用水使用量の増加が予測され、都市生活用水は1991年時点の121億m³から2050年には730億m³になると予測されている。

またJia-di Yuらによる水供給の予測は、システムダイナミックス手法を用いて2030年の中長期で行われている。ここでは特に水資源供給に関する投資に着目し、投資計画について4つのシナリオを設定している。シナリオ1は現在の投資計画（農業と工業を合わせた投資計画）の下での予測である。現在の投資計画は農業に対する投資額が全投資額の3%で、農業投資額のうち75%が灌漑のための投資である。シナリオ2は農業に対する投資の割合を3%から6%に引き上げた場合、シナリオ3は農業に対する投資の割合はそのまま導水に対する投資を1990年から年に2億元増しにする場合である。シナリオ4は農業に対する投資の割合を3%から6%に引き上げ、さらに導水に対する投資も1990年から年に2億元増しにする場合である。それぞれのシナリオの全供給量予測結果は、2030年で8,378億m³、8,775億m³、9,621億m³、9,956億m³になると予想されている。

ワールドウォッチ研究所の所長であるレスター・ブラウンが、国家情報委員会（NIC）の報告書などをもとに分析したところ、家庭用の水需要が1995年の310億トンから2030年には1,340億トン、産業用が520億トンから2,690億トンへと急増すると予想されている。この結果、農業用水が圧迫される。北京近郊ではかつて農業用水の取水が禁止されたこともある。

4. 水需要予測とその結果

本研究では過去の趨勢を前提としたBaUシナリオの下での長期の水需要予測を行う。水需要総量の内訳としては農業用水、工業用水、都市生活用水の3用途とし、省別に予測する。予測の対象期間は2050年までとする。なお、ここでは、供給側の需要に対する影響は考えないこととしこれまでの趨勢以上の節水対策や、水不足に対する経済への負のフィードバックなどは前提としてない。

4. 1 予測方法

(A) 農業用水

農業用水はすべて灌漑用水とする。農業用水量については作付け品目ごとに大きく異なるが、ここでは農地全体の平均値である流域別灌漑定数（表5）を用いる。予測は以下の式を用いた。

$$\text{灌漑用水量} = \text{流域別灌漑定数} \times \text{有効灌漑面積}$$

$$\text{有効灌漑面積} = \text{有効灌漑率} \times \text{耕地面積}$$

ただし、耕地面積は変化しないものとした。有効灌漑率については省別に時系列回帰曲線を求め、これにより有効灌漑面積を予測する。ただし、ここ数年減少傾向にある省では、今後は変化しないものとした。複数の流域にまたがる省については、より面積の多い流域の流域別灌漑定数を用いた。流域別灌漑定数は変化しないとした。結果を図2に示す。その結果、特に内蒙古の大幅な増加が予測された。

(B) 工業用水

工業用水は、各業種別単位生産額当り水消費量原単位（以下単に原単位）にそれぞれの生産額を乗じて求めた業種別工業用水需要量を積み上げて予測する。ただし、データに制約があるため、原単位を求める際、

表5 流域別灌漑定数
(1980年, m³/ha)

流域	灌漑定数
松花江・東北諸河	10,200
海河	5,625
淮河・山東半島諸河	7,125
黄河	8,175
長江	10,200
珠江・華南諸河	13,950
東南諸河	10,200
西南諸河	8,625
内陸諸河	14,475

出所：水利電力部水利水電規劃設計院
『中国水資源利用』, p.76

工業用水量として工業廃水排出量の値を用いた。

工業用水需要量＝
 $\Sigma(\text{業種別原単位} \times \text{業種別生産額})$
 ここでは、次に示す仮定をおく。すなわち、
 ①二次産業生産額に対する業種別シェアは一定とする。
 ②水道料金は一定とする。
 ③原単位は全国一律であるとして全国平均値を用いる。
 ④原単位は過去のトレンドに従い減少するものとする。

業種分類については、業種別に工業廃水排出量が統計的に整備されている20分類とする。また、各省の業種別生産額及び人口は中山らの計算方法²⁵⁾を採用する。ただし、2050年までの長期予測であるため、一人当たりGDPの省間格差が大きくなるよう調整した。生産額は、中間取引での需要も考慮するため社会総産値を用いる。結果を図3に示す。その結果、全ての省で大幅な増加が予測されたが、特に、遼寧、山東、四川の各省が大きい。

(C) 都市生活用水

都市用水需要量は、一人当たり都市生活用水量に都市人口を乗じることで予測する。中国の都市では都市人口と給水人口は異なるが、ここでは都市人口を用いる。今回はデータの制約上、一人当たり都市生活用水量は都市の総水使用量を都市人口で除することにより求めた。

都市生活用水量＝
 一人当たり都市生活用水量×都市人口

一人当たり都市生活用水量は、時系列で回帰曲線で求めた全国平均値に地域調整係数を乗じて求める。ただし、地域調整係数は現在の省間での都市生活用水使用量の格差とした。結果を図4に示す。都市人口の増加が著しい広東省が大きい。

4. 2 結果

表6は本研究による水需要の予測結果である。比較のため前述の中国科学院による予測結果も併記した。2050年の予測結果

を1991年と比べると、総需要量は2.8倍となった。用途別では、農業用水は1.5倍、工業用水は14.2倍、都市生活用水は3.4倍になった。特に、工業用水の増加が著しく、中でも遼寧、山東、四川省の大幅な増加が予測され、その規模は農業用水に匹敵するほどであった。

中国科学院による予測結果を比べてみると、2050年において全体で約6,000億m³、農業用水で約3,000m³、工業用水でも約3,000 m³、都市生活用水では350 億m³の違いがあった。その要因を用途別にみると、本研究では農業用水について耕地面積一定で有効灌漑率のみ変化させたため、有効灌漑面積が7,674 万 ha まで増加した。さらに、灌漑定数も1980年の値をそのまま用いたことも一因であろう。工業用水についてはデータ上の制約から排水のデータを用いて原単位を求めたこと、工業総生産値が555,389億元と中国科学院によ

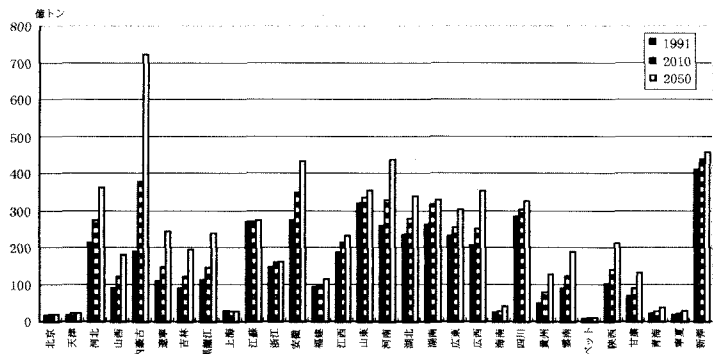


図2 農業用水需要予測結果

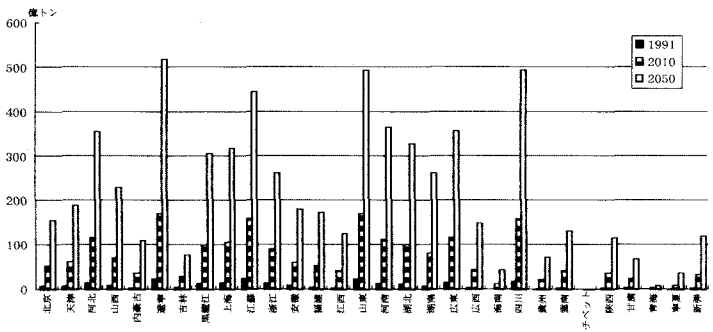


図3 工業用水需要予測結果

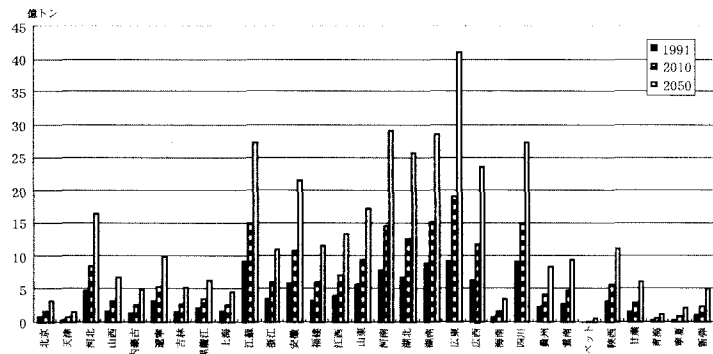


図4 都市生活用水需要予測結果

	表6 予測結果と既往研究との比較				単位: 億m ³
	農業用水	工業用水	都市生活用水	総需要量	
	本研究(中国科学院)	本研究(中国科学院)	本研究(中国科学院)	本研究(中国科学院)	
2010	5,766 (4,653)	2,158 (929)	201 (268)	8,125 (5,850)	
2030	6,623 (4,530)	4,515 (1,899)	300 (456)	11,438 (6,855)	
2050	7,329 (4,157)	6,525 (3,436)	388 (730)	14,241 (8,323)	

る予測値（490,778 億元）よりかなり大きかったことが原因である。都市生活用水については用水人口（都市人口）については差はないものの、一人当たり生活用水の伸びが本研究ではやや小さかったために、中国科学院による予測値よりも小さかった。

またJia-di Yuらは水供給について4つのシナリオを用いて予測した。2030年における総供給量はそれぞれ8,378 億 m^3 、8,775 億 m^3 、9,621 億 m^3 、9,956 億 m^3 である。本研究における2030年での総需要量は11,438 億 m^3 であり、その結果、国全体での需給バランスとしては、どのシナリオでも水不足が生じる結果であった。

4. 3 水需給バランスの評価

バランスの評価については、総需要量を各省の水資源賦存量で除すことにより得られる指標（以後危険度と表す）で行う。ここでは、各省の水資源賦存量の変化は考えない。各省の水資源賦存量については中国科学院の値²⁶⁾を引用した。

$$\text{危険度} = \text{総需要量} / \text{水資源賦存量}$$

図5は1991年から2050年までの危険度を示したものである。北京・天津を中心として、東部沿海地域から東北地区にかけて危険度が増していくのが分かる。これらはほとんどが工業用水の増加分である。危険度の増加は現在から2010年までの短期間に起こり、経済成長の鈍化と原単位の向上によってそれ以降は緩やかである。

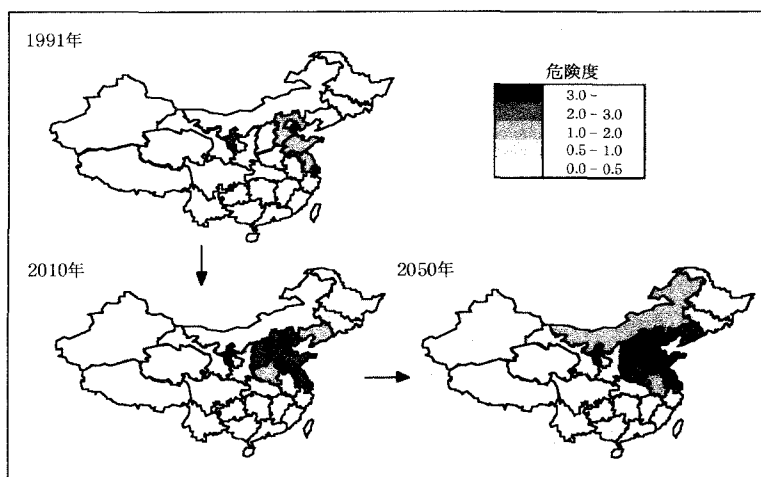


図5 水需給に対する危険性の評価

5. 考察及び今後の課題

上記の水需要予測によれば、これまでの趨勢が維持され、そして、それに対する対策が加速されなければ、今後中国の水需要は著しく増大することとなる。また、賦存量との比較において、その需要量は賦存量を大幅に越えることが示された。実際には、賦存量すべてが利用できるわけではないため、危険度はさらに大きくなり事態は深刻なものになると考えられる。特に、北京、天津、上海などの巨大都市を中心とした東部沿海地域から東北地区までが深刻であるといえる。

ただし、危険度を評価するために用いた水資源賦存量は、1つの既存研究の成果を用いて行ったものであり普遍的なものとはいえない。そのため、危険度評価についてもあくまで相対的な目安であり、絶対的な評価とはいえない。今後は、把握の困難な地下水などの見積もりを含め、流域レベル等よりミクロな地域分割による詳細な積み上げを行うことや、気候変動の降水量に対する影響等を考慮するなど、賦存量についてはさらに検討する余地がある。

工業用水については、水の循環利用等の節水技術により大幅な需要量を削減が期待される。また、生活用水については、都市化の進行速度や生活水準向上によるライフスタイルの変化、下水道普及による水需要増などが影響要因としてあるが、これらについて、さらなる検討が必要である。これらの精緻な予測が、危険度についての評価精度を向上させるであろう。

さらに、需給バランスの評価のためには、水の質的要因も無視できない。利用形態によって求められる水質水準は異なる。また、上流の大都市の生活排水の影響が、下流部の都市、例えば上海市などにおいてすでに顕在化している。下水処理水の再利用として農業用水に転用している地域もあるようであるが、その窒素分過多が問題となる可能性もある。このように、供給側の質的側面を踏まえた供給可能量と、需要側の用途別需要量の両者を、地域ごとに考慮することが必要であるといえる。

今後は、図1に示す評価フレームに基づき上記のような様々な課題について分析していきたい。また、それに基づき長期的な戦略を考察するための政策シナリオを取り扱えるような水需給総合評価モデルの開発を目指す。

参考文献

- 1) 中国科学院：「中国 21 世紀水問題方略」, 1996
- 2) 第 13 回人口と開発に関するアジア国会議員代表者会議報告書, pp.87-89, 1997
- 3) Liu Changming and Du Wei : Areal Reallocation of China's Water Resources, *GeoJournal*, Vol.10, No.2, pp.157-162, 1985
- 4) Chen Zhikai : China's Water Resources and its Utilization, *GeoJournal*, Vol.10, No.2, pp.167-171, 1985
- 5) Lester R. Brown and Brian Hawell: China's Water Shortage Could Shake World Food Security, <http://www.worldwatch.org/mag/1998/98-4a.html>(World Wide Web Resources), April 27, 1998
- 6) Wang Jusi: Water Shortage and Wastewater Reuse, *Journal of Environmental Sciences(China)*, Vol.2, No.3, pp.67-78, 1990
- 7) Z. Benshu: South to North Transfer Project, *International Water Power & Dam Construction*, Vol.47, No.1, pp.42-45, 1995
- 8) 許建華：中国における給・排水の現状, 用水と廃水, No.34, No.8, pp.652-656, 1992
- 9) 金淞, 鐘震：厳しい現実に直面する中国の排水の現状, 産業と環境, Vol.25, No.3, pp.37-49, 1996
- 10) V. スミル：「蝕まれた大地 中国の環境問題」, pp.79-115, 1996
- 11) Qian Yi and Zhang Zhonghiang : Strategy of Water Resource Conservation for Sustainable Development in China, *Emerg. Technol. Environ. Prot. Prep. 21st. Century*, Vol.1, pp.132-138, 1993
- 12) Chen Zhikai : Water Resources Development in China, PB Rep., pp.175-181, 1992
- 13) 池田碩：北京市の水文環境と密雲水庫, 国土問題, No.36-44, pp.36, 1991
- 14) Zuo Dakang : Rational Use of the Huanghe River's Water Resources, *International Journal Water Resouces Development*, Vol.5, No.4, pp.273-278, 1989
- 15) Fei Jin : Groundwater Resources in the North China Plain, *Environ. Geol. Water. Sci.*, Vol.12, No.1, pp.63-67, 1988
- 16) 内田駿一郎：北京, 天津地域の水事情, 工業用水, No.3371, pp.29-54, 1989
- 17) 季宝慶, 李麗娟, 劉静航：華北(中国)における水資源と環境問題, 水と土, No.94, pp.36-42, 1993
- 18) 播磨幹夫：中国の水資源と水環境事情, 用水と廃水, Vol.38, No.8, pp.679-690, 1996
- 19) Xu Yuexian : Water Resources Development in the North China Plain and its Effects on the Environment, *International Journal Water Resouces Development*, Vol.6, No.2, pp.140, 1990
- 20) Hou Yuguang and Wen-sen Chu : Major Water Resource Problems and Projects in China, *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol.114, No.1, pp.108-114, 1988
- 21) Zhang Zezhen, Chen Bingxin, Chen Zhikai and Xu Xinyi : Challenges to and Opportunities for Development of China's Water Resources in the 21st Century, *Water International*, Vol.17, No.1, pp.21-27, 1992
- 22) Song Xutong : The Role of Water Conservation and its Prospects for the Development of Urban Water Supply in China, *Aqua.*, Vol.38, pp.236-240, 1989
- 23) Chen Mengxiong : GroundWater Resources and Development in China, *Environ. Geol. Water. Sci.*, Vol.10, No.3, pp.141-147, 1987
- 24) Jia-di Yu and Xin-yun Zeng : Study on Developing Strategies of Regional Water Resources System, *System Dynamics*, Vol.2, pp.609-612, 1996
- 25) 中山裕文, 井村秀文：中国の石炭需要とその輸送に関する将来予測, 環境システム研究, Vol.25, pp.297-298, 1998
- 26) 中国科学院：中国土地資源生産能力及人口承载力研究, 1991