

## 新疆乾燥地域の河川水質と水資源の保全

Batuer ABUDOUREYIMU\*・城戸由能・川久保愛太\*\*・中北英一

\* 新疆大学資源環境科学学院  
\*\* 京都大学大学院工学研究科

### 要 旨

新疆ウイグル自治区は典型的な乾燥地域であり、水資源が乏しく、生態環境も脆弱である。中国中央政府の西部大開発による経済発展と移民人口の爆発的な増加に伴い、この地域の水資源環境は急速に悪化しており、水資源賦損量の確保と水質汚染防止は緊急の課題となっている。

本論文では、新疆ウイグル自治区南部のタクラマカン砂漠の北を流れるタリム河流域を対象として、これまでに行われてきた複数の調査資料を収集・整理し、タリム河の水量・水質環境の現況を分析するとともに、今後の水利用増大に伴う水資源環境の変化に対応した対策の検討をおこなう。

キーワード：新疆ウイグル自治区，乾燥地域，水資源管理，水質環境保全

### 1. 研究の背景

新疆ウイグル自治区は典型的な乾燥地域であり、水資源が乏しく、生態環境も脆弱である。中国中央政府の「西部大開発」により新疆ウイグル自治区では経済の発展と移民人口の爆発的な増加に伴い、水資源環境の悪化が急速に進み、水資源の水量確保と水質汚染防止は非常に重要な課題となっている。

タリム河は新疆ウイグル自治区の南部にあるタクラマカン砂漠の北を東西に貫流する中国国内で最も長い内陸河川である。対象流域の位置と主要河道を Fig.1 に示す(Zhonglei Feng, 2004)。タリム河流域では約830万人の住民が生活しているが、約4%のオアシス面積に人口の約90%が集まっており、タリム河の表流水や地下水を水源とする灌漑農業に依存している(中国水利局, 2006)。近年、流域の農業活動が活発化し、河川水質汚染の主な原因となっている一方、現地住民には水資源の持続的な有効利用に関する認識と専門知識も乏しく、水資源の有効利用が図られていないのが現状である。

タリム河の源流は天山(テンシャン)山脈・昆仑(コンロン)山脈等の高山に発し、天山山脈の南を東に向かい流下し、タクラマカン砂漠の中で表流水

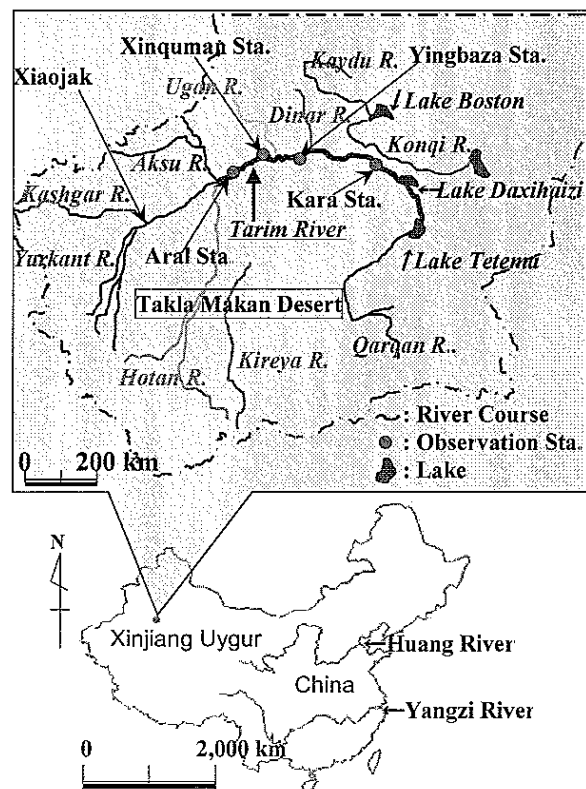


Fig.1 Map of Study Area

が消滅する。タリム河の支流の一部では年流量が増えているが、耕地の広がる中流部以下では水利利用量が大きく、下流部ではすでに表流水の枯渇や地下水位の低下が始まっており、将来的には流域全体の水量不足が懸念されている。河川水質も悪化しており、国の定める環境基準を超えている水質項目も多い。水質汚染の自然的要因としては、乾燥地域のため降水が少ないことに加えて3つの源流枝川が合流するシャオジャケ以下で流入する支流の水量が少なく、汚濁物質が流入しても十分な希釈効果が期待できないこと、流域から多量の塩分類が流入して河川水および地下水中の鉱化度を高め、生物による自然浄化効果も低いことが挙げられる。さらに、人為的要因として、建国後に開発した土地の大部分が塩漬土であり、土壌洗浄により毎年大量の塩分類がタリム河に流入するのに加え、耕地で使用される肥料・農薬量の増加などによる汚染が進行している。さらに近年、水源である山岳部氷河そのものが都市部・工業地帯由来の大気汚染物質により汚染されるなど水資源の保全対策が急務である。

## 2. タリム河流域の概要

タリム河流域はタリム盆地内のアコス川、カシュガル川、ヤルカンド川、ホタン川、カイドーコンチ川、デナ川、ウガン川、ケリーヤ川、チェルチェン川の9水系、144河川からなり、流域総面積は102万km<sup>2</sup>(国内流域面積は99.6万km<sup>2</sup>)、その内山地が47%、平原部が20%、砂漠が33%を占める(Fig.1)。平均流量は国外からの流入量63億m<sup>3</sup>を含む313億m<sup>3</sup>で、天山山脈・昆仑山脈等の高山山岳部の氷河融解水を主な水源とする。上記9水系は歴史的には全ての河川がタリム川主流を流れ込んでいたが、人間活動および気候変化などの影響で、1940年代にはチェルチェン川、ケリーヤ川、デナ川からの流入が途絶え、その後カシュガル川、カイドーコンチ川、ウガン川等からの流入水も途絶えた。現在は、主な源流域であるアコス川からは年間を通して流入水があるが、ヤルカンド川、ホタン川からの流入は洪水期に限られている。タリム河の主流全長は1,321km、アコス川、ヤルカンド川、ホタン川、カイドーコンチ川、ウガン川等5つの支流の流域面積が流域総面積の25.4%を占め、支流域からの総流量が主流の平均年流量の64%を占めている。流域内には5つの地区(州)と42の県(市)があり、4師・55団場の建設兵団が設置されている。流域内の耕地面積は352万haであり、そのほとんどが、河道近傍に昔から存在する自然的オアシスと近年開発された人工的オアシスの周辺に広がって

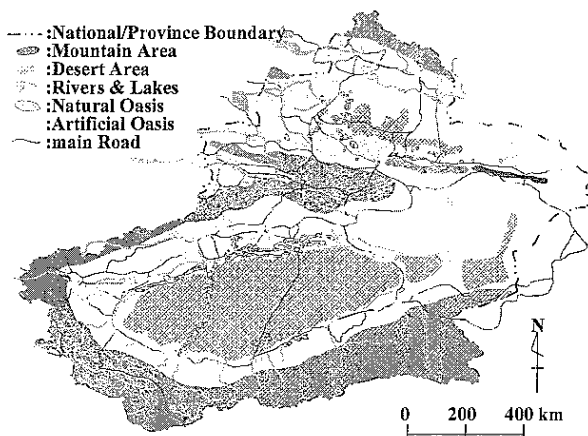


Fig.2 Oases of Xing Jiang Area

いる(Fig.2)。自然的オアシスは旧河道とタリム河主流およびホタン川・ヤルカント川に沿って発達してきた。人工的オアシスも主要な河川河道に近く分布しているが、基本的に主要道路沿いに配置されており、人為的に河川表流水あるいは地下水からの導水によって成り立っている。一部の地域では、人工的オアシスの開発は近傍の自然的オアシスの地下水位低下を招いており、古くから発達してきた自然的オアシス近隣の生活環境と植生環境を破壊しつつある。

### 2.1 流域の自然および地理的特性

タリム河流域は、北は天山、西はパミール高原、南は昆仑山、阿爾金山(アルチンシャン)に囲まれ、西高東低の地形性状をなしている。タリム河は天山・昆仑山から大量の土砂を運搬して流域の山麓と平原部に堆積し、広大な洪積平原とデルタ地帯を形成してきた。また、タリム河流域は海洋から遠く離れており、ユーラシア大陸中緯度地帯のほぼ中央に位置し、典型的な大陸性気候区である。降水は少なく、蒸発作用が激しく、四季の気候に分かれ、気温の日較差は約15℃、年較差は25℃以上になる。また砂嵐が発生することが多く、浮遊砂で視界のきかないこともあるが、年間日照時間は2,500~3,500時間と長い。降水量は流域内の地点により異なるが、山地部は平原部より多く、年平均降水量が200~500mm、盆地部では50~80mm、盆地中央部では約10mmと少ない。1960年代から1990年代における全流域の年間平均降水量は117mmであるが、支流域では237mmと多い。E-601型蒸発器の測定蒸発量から換算した年間蒸発量は、山岳地帯で800~1,200mm、山地部で200~500mm、盆地では1,600~2,200mmである。

タリム河の主流部であるシャウジャケ(肖夾克)からテマ湖(台特瑪湖)までの全長は1,321km、流域面積は1.76万km<sup>2</sup>で、平原型の河川であり、河道勾

Table 1. Characteristics of Main Course of Tarim River

River Segment Characteristics	Upstream	Midstream	Downstream
	Xiaojak~Yingbaza	Yingbaza~Kara	Kara~Lake Tetema
River Length [km]	495.0	398.0	428.0
River Slope [-]	1/4,600~1/6,300	1/5,700~1/7,700	1/4,500~1/7,900
River Width [m]	500~1,000	200~500	100

配は比較的緩やかである。主流部の河道特性を Table 1 に示す。シャウジャケからシンバザまでが上流部に区分され、河道は比較的順直で、分流量が少なく、明確な河岸段丘が形成されておらず、洪水時には河道幅が数kmとなることもある。シンバザからカラまでが中流部に区分され、河道は屈曲し、水流は緩慢で、土砂堆積が大きく、河床高は上昇しつつある。周辺農地への用水路が多く掘られており、中流部では河道が細かく分岐している。カラからテテマ湖までが下流に区分され、河道幅は約100mで、比較的河道は安定している。

2.2 流域の社会・経済的特性

1998年のタリム河の全流域総人口は826万人であり、主流域と4つの支流域に半数を越える481万人が住み、その内農業従事人口は364万人で総人口の76%を占める。灌漑区域面積は12,553km<sup>2</sup>で、その内耕地灌漑面積は9,513 km<sup>2</sup>（全灌漑区域の76%）、人工林灌漑面積は3,040 km<sup>2</sup>（同24%）である。家畜数は1,162万匹で、食糧の総生産量は247万トン、綿花の総生産量は74万トン、域内総生産量は219億元（1人当たり4,555元）であり、新疆ウイグル自治区全体の平均水準より低い。タリム河流域の主流域および4つの支流域の社会経済的特性を Table 2 に示す。

3. タリム河流域の水文学的特性

3.1 タリム河支流域の水文学的特性

タリム河の上流部に流入するアコス川・ホタン川。ヤルカンド川の流況を Table 3 と Fig 3 に示す。三枝川の基準観測点での年間平均流量はそれぞれ70億m<sup>3</sup>、44億m<sup>3</sup>、74億m<sup>3</sup>であるが、タリム河に流入する流量組成は68%、20%、12%である。これらの枝川水源は主に降水からの供給が総水量の52%、山岳部にある氷河融水が48%を占める。支川の年間流量は1957年以降、4~5年程度の間隔で豊水と渇水がくり返されているが、ホタン川・ヤルカント川については経年的な年流量の変化は見られずほぼ安定している。アコス川については近年微増傾向が見られる。支川流量の年内変動は大きく、6月~9月の期間流量が年間流量の70~80%を占め、大部分が洪水となって

Table 2 Social and Economic Characteristics of Study Area

	Main Stream Basin	4 Tribu-taries Basin
Population [10 <sup>3</sup> Capita]	120.0	4,690.0
Farmer Population [10 <sup>3</sup> capita]	80.0	3,560.0
Ratio of Farmer [%]	66.7%	75.9%
Irrigated Area [km <sup>2</sup> ]	866.7	11,686.7
Irrigated Cultivation Area [km <sup>2</sup> ]	646.7	8,866.7
Irrigated Grove Area [km <sup>2</sup> ]	220.0	2,820.0
Livestock [10 <sup>3</sup> heads]	580.0	11,040.0
Gross Products of Food [10 <sup>3</sup> ton]	36.0	2,434.0
Gross Products of Cotton [10 <sup>3</sup> ton]	83.0	657.0
Areal GDP [Million Yuan]	670.0	21,230.0
Per Capita Areal GDP [Yuan/capita]	5,583.3	4,526.7

Table 3 Inflow Volume from Tarim River Basin

	Basin Area [km <sup>2</sup> ]	Flow Volume [Million m <sup>3</sup> /yr]		Ratio
		Obs Sta at each tributaries	Inflow to Tarim Main River	
Acos R.	19,470	7,000	3,700	68.8%
Hotan R.	34,558	4,400	1,050	19.5%
Yalkant R.	50,248	7,400	630	11.7%
Sum	104,276	18,800	5,380	

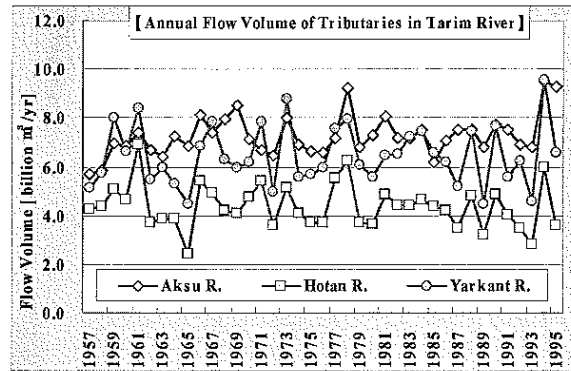


Fig 3 Annual Flow Volume of Tributaries of Tarim River during 1957 to 1995

河道からあふれ、周辺農地の被害が大きくなる。逆に3月~5月の耕作期間流量は年間流量の10%程度であり、この季節に旱魃となりやすい。

3.2 タリム河主流域の水文学的特性

タリム河主流4地点の流況変化を Fig.4 に示す。タリム河は、上述の上流部の3枝川を除くと、下流部

のカイドーコンチ川以外に水量を供給する枝川は無く、中下流部では、農業等の用水取水が大きく、下流に行くにつれて流量は大きく減少する。豊水年と渇水年の周期は枝川と同様の傾向を示すが、1957年以降、主流4地点の年間流量は明らかに減少傾向を示している。特に、下流部のカラでは水量減少は深刻であり、上流部での流量が大きな年でも、取水により下流部まで到達する水量は少ない。

### 3.3 タリム河流域の地下水の特徴

タリム河全流域の地下水資源総量は182億 $m^3$ といわれており、アコス川、ヤルカンド川、ホタン川、カイドーコンチ川の各枝川流域での水量構成は、それぞれ11.4億 $m^3$ 、2.6億 $m^3$ 、2.3億 $m^3$ 、1.8億 $m^3$ である(Yudong Song et al, 2000)。流域内の河道・ダム、氾濫水、用水路、耕地などから地下水への総浸透量は273億 $m^3$ と見積もられているが、そのうち約2/3が水資源として利用可能といえる。

## 4. タリム河流域の水資源利用

### 4.1 タリム河の水循環構造

タリム河のアラル～カラ間を対象として、洪水期の氾濫原と地下水を含む主河道域を中心に、集水域

内の農地・市街地・その他集水区をそれぞれボックスで表現したモデルを用いて水循環構造の把握を試みた(Fig 5)。それぞれのボックスでは降水流入や他のボックスとの流入、浸透・蒸発散、取水量・灌漑水量、流出水、排水および処理水量等の水循環を考慮した構造となっている。

河道流量、氾濫水量・回帰量、各種浸透量については既往調査事例から数値を設定し、蒸発量を調整することで、地下水位および河道水位が安定するようくり返し計算を行った。

計算の結果、パラメータ設定の参考にした他の乾燥地域よりも蒸発量を多く見積もらないと、河道お

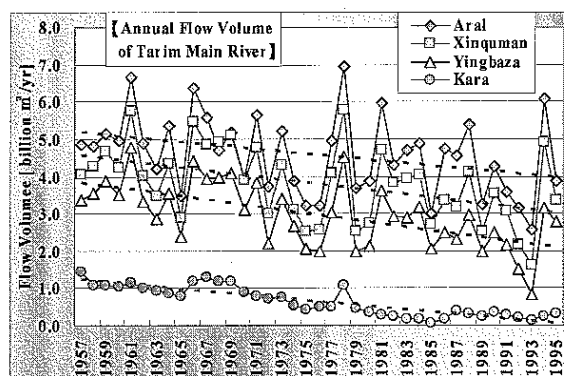


Fig 4 Annual Flow Volume of Tarim Main River during 1957 to 1995

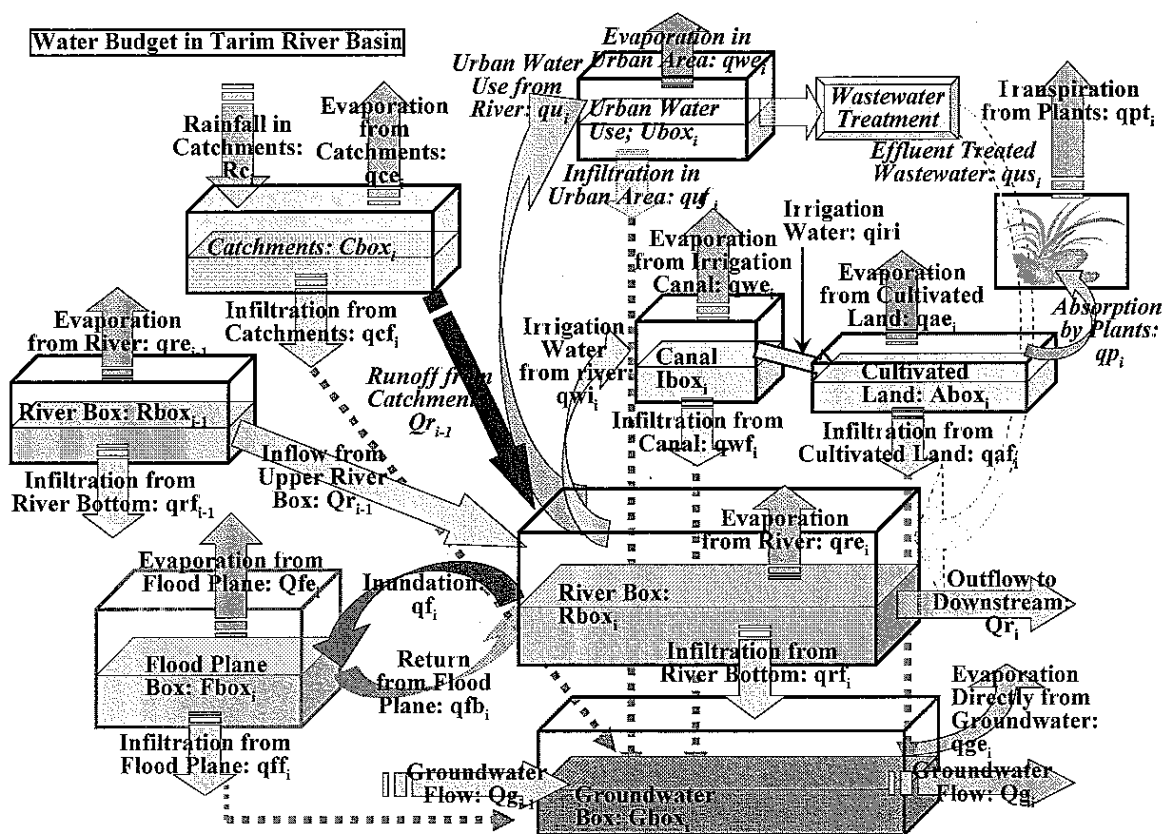


Fig 5 Model Components for Estimation of Water Budget and Pollutant Balance

よび地下水での水量収支がとれなかった。現状ではデータの少ない地下水流動や揚水量および人工的な取水量等を明らかにしないと流域の水収支を解明することは困難である。今後は、地下水流動と河川水流動に関して、より物理的な意味を重視したモデルを作成し、水収支をとらえ、さらに硬化度等の水質についても解析を行う予定である。

## 4.2 水資源利用状況

流域内の主要産業である農業および住民生活に伴う水利用状況を以下にまとめる。

### (1) 生活用水および工業用水

流域内の住民生活で消費される年間水量は153億 $m^3$ で、一人当たり生活用水原単位は876L/人・日であり、日本の約1/3である。しかも農村部の農民・牧畜民の生活用水原単位は約20.0~50.0L/人日と極端に少ない。牧畜に要する水消費量に関する専門的な統計資料がないので、流域内の家畜の年間飼育頭数と標準的な家畜種別の水使用量原単位を基に推定した結果、流域内で約0.68億 $m^3$ となった。流域内の工業開発は現時点では少ないが、将来的には石油資源開発に伴い飛躍的に発展する可能性が高い。現在の工業生産額は約54.2億元、工業生産に要する水消費量は約9,300万 $m^3$ で、工業生産額あたりの水消費量は平均172 $m^3$ /万元であった。中国全土と比べて水消費量が低いのは、この地域の工業生産額に占める石油産業の割合が高く、石油産業の工業生産額あたりの水消費量が相対的に低いためである。

### (2) 農業用水

流域内の用水路総延長は485万kmで、この内182万km(37.4%)については河床等からの浸透を防止するための工事が施されている。施工区間は幹線用水路の41.6%、分水路の42.9%、用水路の33.2%となり、これらの数値から算定した流域内用水路を介した水利用係数は平均0.414と非常に低い。また、中下

流部では、行政の管轄が及んでいない取水用ポンプおよび引水路が130箇所余り設置されており、これらの取水については全く制御できていない状況である。また、引水路の多くは簡単な工法で掘りこまれた水路であり、防浸性が低く、水の浪費がきわめて深刻な状況である。

1998年の流域内の総灌漑面積は12,553 $km^2$ 、その内、耕地灌漑面積は9,513 $km^2$ 、果実栽培林等を含む平原林灌漑面積は2,353 $km^2$ で、牧畜業のための灌漑面積は103 $km^2$ である。総灌漑面積中の主流部流域では867 $km^2$ 、支流のホタン川は1,400 $km^2$ 、ヤルカンド川が4,347 $km^2$ 、アコス川は3,987 $km^2$ 、カイドーコンチ川は1,960 $km^2$ である。灌漑農業に使用する水量は202.4億 $m^3$ で、その内訳は表流水197.6億 $m^3$ 、地下水4.8億 $m^3$ である。流域内貯留や工事等による損失を差し引いた流域内有効総利用水量は178億 $m^3$ になる。全流域の面積あたりの灌漑水量原単位は63.0 $m^3$ /ha/dayであるが、主流部では102.1 $m^3$ /ha/dayと高く、ホタン川流域はこれに次いで74.7 $m^3$ /ha/dayとなっている。農業用水から地下への浸透量を概算すると、主流からの年間導水量は4.56億 $m^3$ 、浸透率は0.23となり、総浸透量は1.07億 $m^3$ となった(Table 4)。

### (3) 氾濫水

タリム河主流部の河道および河床変動を防止するような河道改修工事は皆無である。前述の通り灌漑のための取水施設工事も制限されておらず、漏水と無秩序な取水による主流河川水量の損耗は深刻である。現在主流の上流部と中流部の河道には護岸堤防がなく、増水期には主流河道の約400~500kmの区間で外水氾濫が発生する。増水期の河道幅は平均30~50km、最大200kmにも達する。氾濫面積は3,000~5,000 $km^2$ にも及び、豊水年では氾濫溢水により河道からあふれる水量が20~30億 $m^3$ に達し、氾濫原での総浸透量は4.2億 $m^3$ 以上になる(Table 4)。

Table 4 Infiltration Volume from Tarim River Basin

Sources		Upstream	Mid-stream	Down-stream	Total
River Course	Infiltration [million $m^3$ /y]	609.0	462.0	274.0	1,345.0
Dam Site	Infiltration [million $m^3$ /y]	119.0	22.0	122.0	263.0
Flood Inundation	Flood Volume [million $m^3$ /y]	619.0	1,208.0	—	1,827.0
	Infiltration Ratio [-]	0.23	0.23	—	—
	Infiltration [million $m^3$ /y]	142.0	278.0	—	420.0
Irrigation Canal	Inflow Volume [million $m^3$ /y]	421.0	111.0	312.0	844.0
	Irrigation Loss [million $m^3$ /y]	256.0	78.0	78.0	412.0
	Infiltration Ratio [-]	0.75	0.75	0.75	—
	Infiltration [million $m^3$ /y]	192.0	58.0	59.0	309.0
Cultivation Land	Inflow Volume [million $m^3$ /y]	165.0	33.0	258.0	456.0
	Infiltration Ratio [-]	0.23	0.23	0.23	—
	Infiltration [million $m^3$ /y]	40.0	8.0	59.0	107.0
Sum of Infiltration [million $m^3$ /y]		1,102.0	828.0	514.0	2,444.0

### 4.3 水資源保全における課題

#### (1) 平原ダムによる水資源確保の問題点

流域内の枝川および本川河道上に、平原ダムが76箇所建設されており、総貯水量は25.5億 $m^3$ 、有効貯水量20.9億 $m^3$ になる(Table 5)。この内、規模の大きな上位6カ所のダムの総貯水量は12.9億 $m^3$ 、有効貯水量は11.0億 $m^3$ である。全ての平原ダムの総設計灌漑面積は51.2 $km^2$ 、総有効灌漑面積は36.5 $km^2$ となり、流域内総灌漑面積の29.1%を占める。総設計供給水量は38.9億 $m^3$ であるが、乾燥地域の地表ダムのため蒸発損失と浸透損失が大きく、タリム河の支流主流に建設された76基の平原ダムでは、蒸発による年間損失水量は約18億 $m^3$ で、ダム貯留水の利用率は低く、主流部の平原ダムでは0.3程度にとどまる(Table 5)。

#### (2) 流域の水環境破壊

タリム河下流域では長期間にわたり河川水が枯れ、生態環境の悪化が深刻になっている。1972年以降、下流の大西海以下の約360 $km$ の河道は長期にわたり表流水が枯れた状態になり、コヨウ林は50年代の4,000 $km^2$ から現在では2,400 $km^2$ にまで減少した。テマ湖は1972年以降、表流水が枯れ始め、タリム河下流域の地下水位も下がっている。下流部観測井の地下水位は7.0 $m$ (1973)から12.7 $m$ (1997)まで下がり、それに伴い井戸水の鉱化度も1.3 $g/L$ (1984)から4.5 $g/L$ (1998)に上昇している。

自然災害を防止する能力も低く、洪水と旱魃は深刻な状況にある。2000年にホタン、カシュガル、ケルケズ、アコス、バインゴルの各州は深刻な干魃に見舞われ、作物被害面積は1,660 $km^2$ 、特に深刻な被害を受けた耕作面積は980 $km^2$ であった。約7万人の住民と約40万匹の家畜が十分な飲用水の供給を受けられず、旱魃による被害額は5.5億元にのぼった。

#### (3) 土地の砂漠化

タリム河流域の土地の砂漠化は非常に深刻で、1959年から1983年の航空写真資料を分析した結果、24年間にタリム河の主流地区で砂漠の総面積は66.2%から81.8%に上昇した。下流部での砂漠化は深刻であり、24年間に砂漠化した面積は22.1%にのぼる。一方、タリム盆地は内陸盆地のため、土壌中の塩分が非常に多く、地下水中の塩分濃度も高い。耕地に灌漑水を導入しても、土壌から塩分が溶出し作物への被害をもたらすため、通常より多量の淡水を必要とし、水資源の利用効率はますます低くなる。4つの支流域で塩分類が過剰な耕地面積は3,407 $km^2$ に達し、耕地面積の38%を占める。

#### (4) 開発による環境破壊

流域内の人口増加と社会経済の発展に伴い使用水量は激増し、水資源の粗放的な開発と浪費は深刻な

Table 5 Specification of Dam Sites

River Basin	Num of Dam Sites	Reservoir Volume		Irrigation Area		Designed Flood Ctrl. Volume [Million $m^3$ ]
		Designed Volume [Million $m^3$ ]	Effective Volume	Designed Area [ $km^2$ ]	Effective Area [ $km^2$ ]	
Hotan R.	20	235.0	205.0	362.7	332.7	220.0
Yarkant R.	37	1,420.0	1,157.0	3,038.5	2,012.7	1,997.0
Aksu R.	6	490.0	420.0	1,051.3	808.7	414.0
Kaydu-Konqi R.	5	77.0	52.0	—	—	48.0
Tarim R.	8	586.0	476.0	663.3	499.7	920.0
Sum.	76	2,547.0	2,091.0	5,115.7	3,653.7	3,886.0

状況にある。統計によると、タリム河上流の3つの源流域で、1950年から1998年までに人口は156万人から392万人、灌漑面積は3,480 $km^2$ から9,727 $km^2$ に増加した。灌漑区への導水量も増加し、50年代には約50億 $m^3$ であったのが現在では約150億 $m^3$ に増加した。経済的制約と物資的制約を受けて、灌漑区の建設技術の水準は低く、農村開発と用水路建設が計画的に進められていないことも大きな問題である。農業用4級用水路の浸透防止工施工率は21%にとどまり、工事後すでに長期間補修もされておらず管理水準が低い。灌漑用水路以外の施設配置も整っておらず、前述の通りタリム河主流部においても基本となる河川堤防工事が不十分であり、取水施設工事は管理されず、水量損耗は深刻な状況となっている。タリム河全流域を対象とした水資源に関する総合的計画が立てられていないことが根本的な問題であり、水資源利用を効率的に行うための根幹的な施設と管理体制が不足している。

タリム河流域にある多くの州や兵団が、それぞれの地域の水資源を管理しているため、流域の統一的管理機構は存在しない。そのため流域の水資源管理活動を統一管理することを目的に、1997年にタリム河流域の水利委員会とタリム河流域の管理局を設立したが、現時点では十分機能しているとはいえない状況である(新疆タリム河流域管理局, 2006)。

## 5. タリム河の水質汚染

タリム河の水質は、耕地開発と人口増加および主流部の水量低下にともない悪化している。その原因を自然的要因と人為的要因に大別して整理する。

### 5.1 自然的要因

タリム盆地は内陸密封構造のため、もともと盆地に堆積した土砂中の塩分量が多く、地下水および地表水にも塩分が溶出し、鉱化度を高めている。また、タリム河は内陸消散河川であり、上流部の3つの源流がシャオジャケで合流した後、流入する支流水量が少ないため、中下流部で汚濁物質が流入した後、

十分な希釈効果が期待できない。加えて、塩分濃度が高いことから生物活性が弱く、自然浄化能力が低い。さらに、流域は乾燥地域のため降水が少なく、蒸発が非常に強い。これらの要因が重なって、河川流下過程で塩分類等の汚濁物質濃度を高めている。

## 5.2 人為的要因

流域内の開発と人口増加に伴い、水循環および物質循環のバランスが大きく変化している。建国後、タリム河上流の3源流域の耕地開発面積が広がり、1949年の35.1万haから1995年までに77.7万haに倍増した。このため取水量も148.0億 $m^3$ に増加し、3つの源流の平均年間流量の81.7%を占めるまでになった。このため主流への流入水が少なくなり、1950年代には56.2億 $m^3$ であったのが、1990年代には38.5億 $m^3$ にまで減少した。平均流量が減少したのに対して、耕地開発により流出する塩分量は増加したため、河川水の鈹化度が近年ますます高くなっている(Fig.6)。

農地開発により塩分類の物質循環も変化した。タリム河および主要な源流であるアコス川の流域は農業開発対象地区に指定されたが、開発された土地の大部分は塩沢土であった。対象流域の一般的な塩分量は表層1mの土壌層で20~100g/kgであるが、耕地開発後に灌漑が進むにつれて、耕地から多量の塩分が流出し、大部分の開発耕地の塩分量は5.0g/kgにまで減少した。兵团濃1師のシャジンゼ開発区とアラル開発区では、灌漑面積は約8.5万ha、表層1m土壌層の平均塩分含量が50 g/kgから10g/kgにまで下がったことで、4,950万トンの塩分が流出したことになる。流出塩分の大部分は用水路を経由してタリム河に排出される。

主流部のアラル、シンチマン、カラの月別流量、鈹化度濃度、鈹化度負荷量を、それぞれFig.7~Fig.9に示す。タリム河上流のアラル開発区およびシャジンゼ灌漑区を含むアコス川灌漑区からタリム河に排出された水量は6.54億 $m^3$ 、排出水の平均鈹化度は2.28~9.57g/Lであり、毎年タリム河に排出する塩分量は439.3万トンにのぼる。このため、上中流部の水量年内変動が大きく、主流部では7月~9月にかけて河川水量が増加して鈹化度は低下するが、春季の渇水期には環境基準V級の汚染レベルに達する。下流部のカラでは年間を通して水量が少なく、鈹化度濃度も安定している(Fig.7, Fig.8)。鈹化度負荷量は流量依存性が高く、上中流部では7月~9月に他期間の3~4倍にもものぼる。流量が年間を通して安定している下流部のカラでは負荷量の年間変動も小さい(Fig.9)。

タリム河主流部の年平均水質濃度と環境基準超過

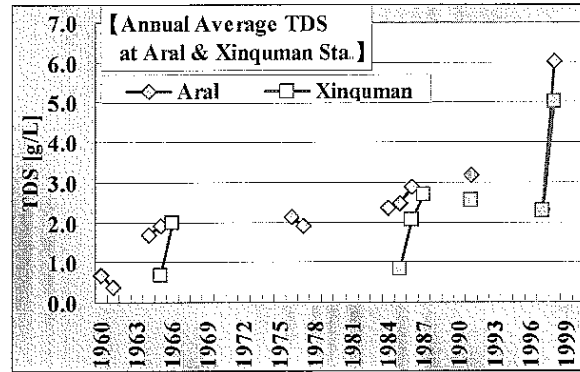


Fig.6 Annual Average Concentration of Total Dissolved Solids at Aral and Xinquman Station

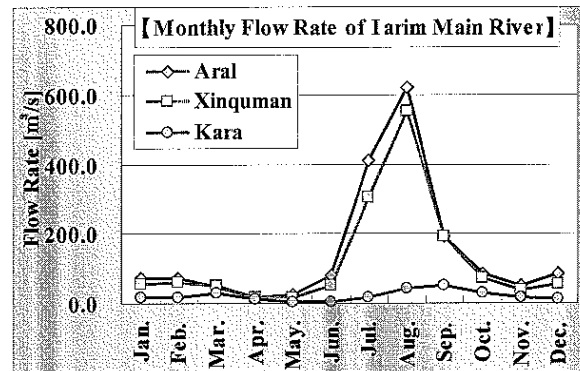


Fig.7 Monthly Flow Rate of Tarim River

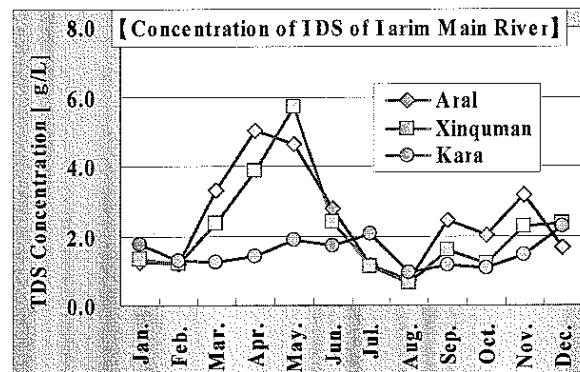


Fig.8 Monthly Concentration of IDS in Tarim River

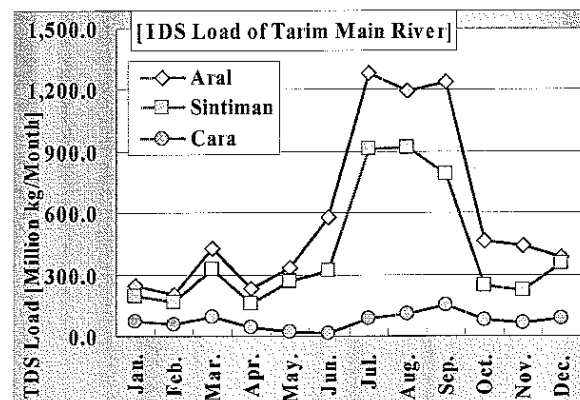


Fig.9 Monthly IDS Load in Tarim River

Table 6 Pollutant Concentrations and Excess Ratio over each Environmental Standard

Pollutants	pH	TDS*1	Hardness	Cl	SO4	COD	DO	F*2	NO3-N	NO2-N	NH4-N
Observation Station	[-]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]
Aksu West Bridge Sta.	8.27	344.0	245.0	102.0	133.0	1.64	8.15	0.45	0.980	0.000	0.210
	0.0%	0.0%	0.0%	8.3%	8.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Tarim River Gate Sta.	8.29	525.0	305.0	131.0	182.0	1.88	7.31	0.77	1.020	0.000	0.210
	25.0%	8.3%	8.3%	8.3%	33.0%	0.0%	0.0%	25.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Aral Bridge Sta.	8.19	3,821.0	888.0	1,128.0	902.0	2.01	6.91	1.47	1.070	0.000	0.250
	8.3%	75.0%	58.3%	75.0%	75.0%	0.0%	0.0%	66.7%	0.0%	0.0%	0.0%
Xinquman Sta.	8.14	3,410.0	754.0	934.0	777.0	2.10	7.51	1.52	0.890	0.030	0.270
	0.0%	83.3%	58.3%	66.7%	67.0%	0.0%	0.0%	66.7%	0.0%	0.0%	0.0%
Yingbaza Sta.	8.08	3,954.0	1,047.0	1,116.0	992.0	2.89	7.57	1.64	0.920	0.020	0.350
	0.0%	83.3%	66.7%	100.0%	83.0%	0.0%	0.0%	83.3%	0.0%	0.0%	0.0%
Kara Sta.	8.18	2,146.0	535.0	498.0	428.0	2.54	6.97	0.93	0.710	0.000	0.220
	8.3%	91.7%	50.0%	75.0%	83.0%	0.0%	0.0%	50.0%	0.0%	0.0%	0.0%

\*1 Total Dissolved Solids, \*2 Fluoric Ion, Upper Row: Annual Average Concentration [mg/L], Lower Row: Environmental Standard Ex

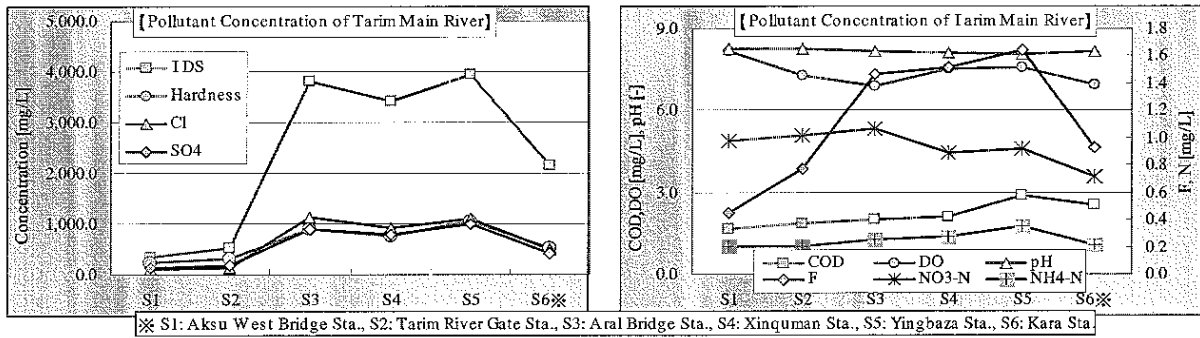


Fig 10 Pollutant Concentration through the Tarim River Main Course

率を Table 6 に、主流流下方向における水質変化を Fig. 10 に示す。観測によると BOD, COD 等の有機汚濁物質濃度は基準を下回っており、現状では生活排水および工業排水による有機汚染はあまりひどくない。しかし、農業活動により水質汚染は進行している。Table 6 に示すように環境基準を超えているのは 鈣化度、総硬度、塩素イオン、硫酸塩、フッ素化合物等であり、これらの主要な汚染源は農地を主とする面源である。6ヶ所の観測地点中では、アラル、シンチマン、シンバザ観測点の汚濁物質濃度が特に高い。流下方向での水質変化については、IDS と総硬度、窒素を除くイオンについては同様の傾向を示し、アラルからシンバザまでの区間で濃度が高くなり、下流部のカラで濃度がやや下がる。有機汚濁の指標である COD は下流部にいくほど濃度が上昇する傾向があり、時的な汚染が中流部から下流部にむけて進んでいることを示している。

一方、現在新疆ウイグル自治区内の 33 県、13 兵团農場において飲用水中の汚染物質が基準を超えており、全人口の 14% が大腸菌数 27 個/L を超えた水、11% の住民が硫酸塩濃度 400 mg/L を超えた水、9% の住民はフッ素化合物濃度 1.5 mg/L を超えた水を飲用しており、様々な疾病を引き起こしている。

### 5.3 地下水の汚染状況

農地で散布された化学肥料や農薬に由来する窒素・リン・カリウムおよびそれらの化合物は土壌に浸透し、地下水を汚染する。さらに、土壌中の亜鉛・鉛・水銀等の重金属元素は、溶解性は低いながら地下水を汚染している状況が報告されている。行政の環境観測部門ではカシュガル地区の 20ヶ所で有機燐・有機窒素による汚染が発生していることを確認しており、11箇所(55%)の試水中の DDVP (有機塩素系殺虫剤)濃度が 0.124 μg/L ~ 0.201 μg/L と高く、6カ所(30%)の試水中の Dipterex (ディプテレックス; 有機塩素系殺虫剤)、5カ所(25%)の試水ではその他の塩素化合物、3カ所(15%)の試水では六塩化ベンゼンで汚染されていることを公表した。これらの数値は、政府が決めた飲用水環境基準を超えているにもかかわらず、いまだに飲用水として利用されている (Batuer, 2004)。

## 6. 将来予測および保全対策

### 6.1 将来用水予測

支流および主流流域の 1998 年における総人口は 825 万人で、人口の年自然成長率は 1.26% を仮定すると 2010 年には人口 960 万人に達する。2005 年の家畜飼



育頭数は1,310万匹で、2010年には1,500万匹に増加すると予測される。2005年に工業用水、生活用水と畜産用水として必要な水量は3.9億 $m^3$ 、2010年には5.1億 $m^3$ に達する。農業灌漑、生態系保全、工業用水、生活用水、畜産等の用水量は、2010年には流域全体で245億 $m^3$ に達すると予測され、これを満足するためには流域管理を強化することが必要である。

年灌漑面積は12,553 $km^2$ 、その内耕地は9,513 $km^2$ 、林草地面積は3,040 $km^2$ に達するが、これ以上の農業用水の増加は、タリム河の水資源環境を根本的に破壊しかねないので、水資源保全のためには利用効率を高めることで、使用水量を増加させないことが望ましい。

タリム河流域の支流部・主流部に76カ所ある平原ダムにおいては年間18億 $m^3$ の水が損失している。ダムサイトに防浸工法を導入することにより、損失水量3.2億 $m^3$ を節約することが可能である。

主流部、特に下流域で天然生態を回復するためには、天然生態林を現状の109.5億 $m^3$ から2005年127.0億 $m^3$ 、つまり17.5億 $m^3$ 増加することが必要となる。その内、主流部の天然生態の回復に必要な水量は現状の31.4億 $m^3$ から2005年39.4億 $m^3$ に増加するが、回復する天然生態林により砂漠化の進行を遅らせる効果が期待できる。

タリム河の支流の平原地区の地下水資源は比較的豊富で、現在、利用されている割合は低い。各源流区の水資源の分布状況を考慮し、地下水利用を8.44億 $m^3$ 増加させることで、生活用水と工業用水、節約型の灌漑方法を適用した農業用水をまかなうことが可能となる。

一方、地域内で近年開発が進められている油田開発は、新疆ウイグル自治区の主要な財源として期待されている。石油用水は油田注水、生産用水および生活用水を含めて、1トンの原油生産のためにおよそ10 $m^3$ の水が必要とされ、石油加工業では1トンの原油を加工するのに20 $m^3$ が必要とされる。しかし使用水量の多くは再生可能であり、概算すると1トンの原油加工のために1 $m^3$ の新鮮な水の補充で加工が可能となる。このため2005年までに、石油工業に必要な総水量は1.24億 $m^3$ となる。

## 6.2 水資源保全対策

将来的な水資源保全のために、以下の対策が必要となる。

(a)タリム河への高濃度の塩分類を含む排水を禁止する。今後の土地開発に伴う流出塩分は、開発地域内で処理することを義務づけ、処理できない土地開発を全面的に禁止する。

(b)タリム河の源流である支流での地下水開発を進めることで、地下水水位の低下と土壌改良を進める。タリム河支流では地下水資源は61.2億 $m^3$ と見積もられており、今後開発可能な2億 $m^3$ の地下水資源を活用して、アコス川・ウガン川流域での土地開発を進める。ただし、利水後の排水は開水路でタリム河に排出するのを禁止し、地下水涵養に当てる。

(c)耕地開発により流出する塩分を多く含んだ水をタリム河の南にある古い河道に排出することで、高濃度塩含有水と炭水を分離することで、水利用の効率化を図る。さらに、古い河道の水量を復活させることで、枯死した隣地の回復が期待できる。

(d)源流域での水利用と排出を管理してタリム河に流入する水量が減少しないことを保証する。

さらに、農業生産に使う化学肥料および農薬散布量を削減し、農業廃棄物を再資源化することで、環境に与える影響を減少させるために、以下のような対策を提唱する。

A：土壌流失を防ぐために森林、草原、湖等の保全および回復をはかり、耕地から流出する汚濁物質削減を進める。

B：化学肥料・農薬等の使用量を減らして、生物堆肥の利用を広める。

C：生物技術・遺伝子技術、あるいは電気・光、マイクロ波、超音波、放射等の物理的措置を利用した病虫害防止策を広める。

D：アシ等の水生生物を活用した污水浄化を行い、タリム河の水質を保全する。

E：放棄耕作地での農業活動を再開させ、栄養塩類の流失を防ぐ。また、適切な混作により栄養元素の流失を減らす。

F：大規模化した牧畜業のし尿を直接河川に排出するのを禁止して、有機農業への利用を図る。

灌漑方法や標準的な灌漑水量等に基づいて土壤中の汚染物質移動に関する最近の研究成果によると、滴灌やスプリンクラーによる散水等の節水型灌漑方法の利用により栄養塩類元素の流出が削減され、栄養塩類元素の利用率が高まることが明らかとなった。試算した結果、灌漑利用水を31～36%削減することで、耕地からの流出水を78～90%、窒素流出量を76～80%削減することが可能である。一方で、科学的な対策に加えて住民の面汚染に対する防止意識を育成することも重要である。

## 7. まとめ

新疆ウイグル自治区の主要河川であるタリム河

域を対象として、現在の水利用の実態や水質汚染状況をまとめ、今後の持続可能な水資源利用を図るための保全対策について検討した。水収支・物質循環についての詳細な情報が不足してため定量的な評価はできていないが、流域内での水利用を効率化するための多様な方策を組み合わせることで、将来的な水資源および水環境の保全が可能となる。

#### 参考文献

新疆タリム河流域管理局 (2006) : ホームページ,  
[www.tahe.gov.cn](http://www.tahe.gov.cn).

中国水利局 (2006): ホームページ, [www.water.com.cn](http://www.water.com.cn)

Batuer Abudoureyimu (2004) : 農業活動の水環境に対する汚染とその予防対策, 旱魃区研究, Vol 3 (ウイグル語)。

Mayingjie, Jifang, Fanzili, et al. (1999) : タリム川水質汚染分析及び制御対策～タリム川を例にする～, 干ばつ地区地理, 1999年12月第4期。

Yudong Song et al (2000) : 中国タリム河水資源及び生態問題研究, 新疆人民出版社, pp 50-160

Zhonglei Feng (2004): Study on the Relation of Channel Sedimentation and Water Conservancy Projection Running in Tarim River, 新疆農業大学修士論文, p 8

### Conservation of River Water Quality and Water Resources in Xinjiang

Batuer Abudoureyimu\*, Yoshinobu Kido, Aita Kawakubo and Eiichi Nakakita

\* College of Resources & Environmental Science Xinjiang University, China

\*\* Graduate School of Engineering, Kyoto University

#### Synopsis

Water resources and water environment are poor, because Xin Jiang area is almost covered by arid area. National project has been bringing economic development and population increasing in this area. Tarim River, which is one of the longest inland rivers in China, mainly supplies water resources for human society and agricultural activity. River water environment has been damaged by increasing of irrigation water and pollutant load inflow. River water quality management policies should be quickly established for water resources conservation in near future.

**Keywords:** Xinjiang Uygur Autonomous Region, Arid Area, Water Resources Management, Water Quality Conservation