

## リスク解析による都市圏における広域利水の可能性評価

田 尻 要\*・神 野 健 二\*\*  
河 村 明\*\*・末 吉 信一郎\*\*\*

### On the Possibility of Water Supply to Urban and Surrounding Areas Considering Their Relationship and the Safety Criteria

Kaname TAJIRI, Kenji JINNO,  
Akira KAWAMURA and Shinichiro SUEYOSHI

(Received July 4, 1994)

**Abstract:** To evaluate the possibility of water supply to urban and its surrounding areas considering the safety and their relationships, the author established the risk model for decision support system of water supply system. Based on the practical water supply data of F-City and other small communities, the risk criteria, reliability and resiliency and vulnerability are calculated. The possible situation, in which drought happens, is simulated and the risk criteria is calculated, too. The result shows that even if precipitation with recurrence interval 30 years occurs it is possible for F-City to supply 10 percent of water from T-River to other small communities.

**Keywords:** Water resources management, Risk analysis

#### 1. はじめに

F市とその周辺自治体を含む流域は、人口の増加による水需要量の増加とダム適地不足などによる地理的な問題から慢性的な水不足の状況にある。そこでF導水事業と呼ばれる、流域外のT川から遠距離の導水を行っているが、T川の流況が悪化した場合には十分な導水の保証はない。そのためF市では、F導水に依存しながらも、経年時に水を貯留する渇水対策貯水池の建設など自己水源の充実を力を入れている。ところが周辺自治体においては、自己水源の開発は経済的・地理的に難しいためF導水に対する依存度が非常に高く、T川の流況が悪化し導水が充分に行われなくなった場合、水供給が困難になる可能性が高い。しかしながら、F市と周辺自治体の間で広域利水の考え方に基づき相互利水を行ったならば、このような状況が回避または緩和されるものと考えられる。そこで本研究では、利水安全度の立場から水資源に関するリスク（危

険度）の考え方を適用し、F導水を考慮したF市におけるリスク解析に基づくシミュレーションを行い、相互利水の可能性を検討した。

#### 2. F市における水資源の現状

##### 2.1 概要

F市の水道は大正12年に施設能力1日約15,000 m<sup>3</sup>、給水人口約35,000人に対し給水を始めてから、平成5年で70年を迎えた<sup>1)</sup>。この間、F市は九州の中心都市として発展し、現在では人口120万人以上となり、日最大給水量が約48万m<sup>3</sup>の大都市となっている<sup>2)3)</sup>。このまま人口の増加、市勢の発展、生活様式の近代化等が続けば、F市の人口は西暦2001年には約142万人、日最大給水量は約61万m<sup>3</sup>になり水需要も急増するものと予測されている<sup>4)</sup>。このような水需要量の増加に対し新しい安定的な水資源の確保が焦眉な問題となっているが、F市は市内を流れる河川がいずれも2級河川であり、地理的に恵まれておらず、水資源に対して非常に脆弱な都市である。現在、急増する水需要に対応するため、渇水対策用ダム（貯水池）の建設など、自己水源の充実を図っているが、新たなダム建設などによる大規模な水資源開発を行うことは、

平成6年7月4日 受理

\* 西松建設(株)技術研究所

\*\* 建設都市工学教室

\*\*\* 水土木学専攻修士課程（現在、西松建設(株)）

ダム建設適地の不足といった地理・環境上の制約から年々難しくなっている。

## 2.2 施設と水運用

まず、図-1にF市の水資源の運用に関する水源地(ダム貯水池、河川水源地)および浄水場施設の位置を示す。この図で示すように現在F市の水源は、F市流域を流れるA、B、C、Dの4つの2級河川および流域外を流れる1級河川のT川である。市内の4河川からは、4箇所(の)の河川水源地(R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub>)と5箇所(の)のダム貯水池(D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>5</sub>, D<sub>6</sub>)から導水し、これらを5箇所(の)の浄水場(P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>, P<sub>5</sub>)で処理し市内全域に配水している。T川水系ではD<sub>4</sub>ダムからP<sub>3</sub>浄水場へ、またR<sub>5</sub>水源地からP<sub>2</sub>浄水場へ導水している。このR<sub>5</sub>水源地からP<sub>2</sub>浄水場への導水はF導水事業と呼ばれ、T川の水をより有効に利用するために昭和58年から開始され、T川水系の複数のダムにより確保される約2m<sup>3</sup>/sの水を約25kmの導水管を通じて、F市とその周辺自治体(4市10町1企業団)へ供給するものである。現在F市へはF導水量の約78%に相当する日量139,800m<sup>3</sup>が供給され、同じT川水系のD<sub>4</sub>ダムからの取水と合計すると、F市水道の給水能力の約30%を占めている。

## 2.3 周辺自治体の水運用

F市の周辺自治体は、F市のベッドタウンとして近年急速に開発が進み、増加する水需要に自己水源の容量や施設能力が追いついていないのが現状である。F市と同様に水資源の確保が必要であるが、地理的な制約に加え、経済的理由からも自己水源の新規開発は困難な状況にある。昭和58年からF導水が開始され、T川からの導水量の約22%に相当する日量39,000m<sup>3</sup>が

F市の周辺自治体(4市10町1企業団)へ供給されており、年間需要量に対するF導水への依存度は、その割合が低い自治体でも約20%、高い自治体では約50%と非常に大きい。これは、T川の流況が悪化し、十分な導水が行われなくなった場合、もとより自己水源が脆弱な周辺自治体の受ける影響はF市以上に大きいことを示している。

## 3. リスク解析の導入

2で述べたように、T川流域の降雨量の減少などにより、T川の流況が悪化した場合は十分な導水が行われなくなり、F市とその周辺自治体の水運用に大きな影響を及ぼすことになる。ここではリスク(危険度)の考え方を導入し、F導水におけるF市への供給分の一部を、F市以上に自己水源に乏しい周辺自治体へ融通することにより、周辺自治体の利水安全性が格段に向上すると考えられることから、相互利水の可能性をリスク解析に基づき検討した。

このようなリスク解析を行うため、リスクの指標として以下の定義に示す3項目を導入した<sup>5)</sup>。

①信頼度(Reliability)供給可能量>需要量を満たす確率を表す。

$$\text{信頼度} = \frac{(\text{供給可能量} > \text{需要量}) \text{ を満たす日数}}{\text{対象期間日数}} \quad (1)$$

②回復度(Resiliency) 渇水の持続性や施設の立ち直りの早さを表す。

$$\text{回復度} = \frac{\text{渇水の発生回数}}{\text{渇水日数}} \quad (2)$$

③深刻度(Vulnerability) 渇水の深刻さの度合いを表す。

$$\text{深刻度} = \frac{\text{渇水期間中の総不足量}}{\text{渇水期間中の総需要量}} \quad (3)$$

## 4. シミュレーションの設定

### 4.1 期間の設定

平成4年度は、T川流域での年降雨量が25年に1回程度の確率で発生する降雨量の少ない期間であった。このためT川の流況は非常に悪化し、F市とその周辺自治体へのT川から導水量が制限された。このような状況の中で、自己水源の貯水状況が比較的良好であったF市はほとんど影響を受けなかったが、自己水源に乏しくF導水への依存度が高い周辺自治体の中には、

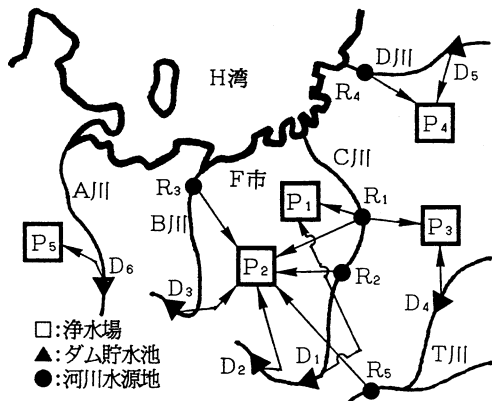


図-1 F市における水源および浄水施設

給水制限を実施した箇所もあった。そこで、F導水のF市への供給分を周辺自治体へ融通する相互利水の可能性を、F市におけるリスク解析を行うことで検討するため、T川からの導水量が制限された平成4年9月1日から平成5年3月31日までの212日間をリスク解析のシミュレーション期間として設定した。

まず、この期間のF市流域における降雨量の影響を検討するため、昭和38年から平成4年までの30年間の年降雨量データおよび平成4年9月から平成5年3月までの期間の降雨量データを整理した。30年間の年降雨量は平均1,613.3mm、標準偏差376.6mm、平成4年9月から平成5年3月までの降雨量は平均651.8mm、標準偏差120.6mm、これに対し平成4年度の年降雨量は1,246mm、平成4年9月から平成5年3月までの降雨量は525.5mmといずれも30年間の平均降雨量以下であり、F市においても平成4年度は降雨量の少ない年であったことが分かる。また、平成4年度の年降雨量および平成4年9月から平成5年3月までの降雨量の確率渇水年を求めるために、これらの降水量データを確率紙上にプロットしたものを図-2および図-3に示す。図-3より、平成4年9月から平成5年3月は6年に1回程度発生する降雨量の少ない期間であったことが分かる。

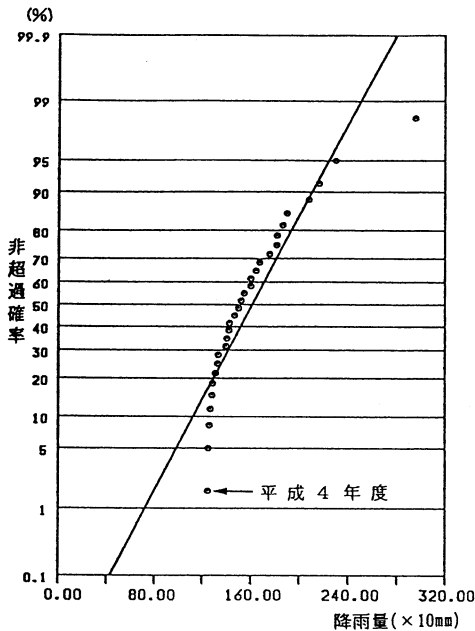


図-2 F市における年降雨量と非超過確率

次に、この期間におけるT川からF市への導水量の変化について検討する。基本的に、F市と周辺自治体へのF導水の水利権量は178,800m<sup>3</sup>/日で、その約78%に相当する最大139,800m<sup>3</sup>/日がF市の水利権量となっている。この水利権量は期間によって変化するが、F市の場合水需要が増加する7月から9月が139,800m<sup>3</sup>/日、10月から6月が135,400m<sup>3</sup>/日となる。図-4に平成4年度のT川からのF市およびその周辺自治体への導水量を示す。この図から、12月から2月にかけての導水量が減少しており、この期間のT川からの全

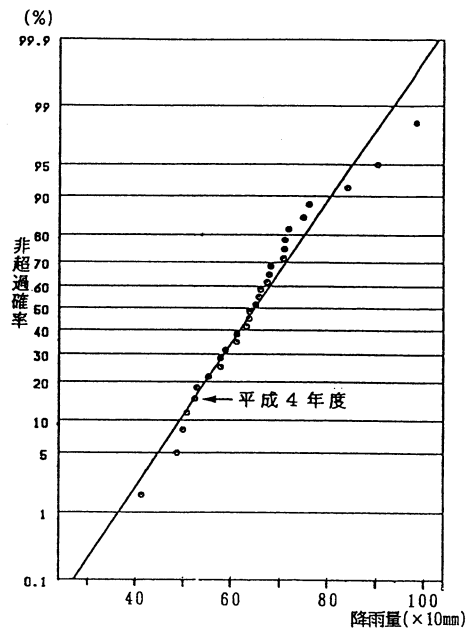


図-3 F市における平成4年9月～平成5年3月の降雨量と非超過確率

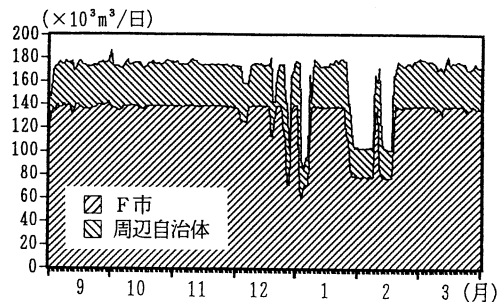


図-4 平成4年9月～平成5年3月におけるF導水の実績導水量

導水量の平均は約 165,400 m<sup>3</sup>/日、F市への導水量の平均は約 129,000 m<sup>3</sup>/日であった。

### 4.2 シナリオの設定

平成4年9月1日から平成5年3月31日の期間で、F市におけるリスク解析を行うために、以下に示すシナリオを設定した。

case 1: F市におけるダム流入量と河川取水量は実績値を用い、T川からの導水量を減少させた場合。これはT川のみ流況が悪化した状況に相当する。

case 2: F市におけるダム流入量のみを減少させ、河川取水量は実績値を用い、T川からの導水量を減少させた場合。これはF市流域において降水量が少なく、ダムへの流入量が減少したが、河川からの取水量は維持できた状況に相当する。

case 3: F市におけるダム流入量と河川取水量の両者を減少させ、T川からの導水を減少させた場合。これはF市都市圏において降水量が少なく、ダムへの流入量が減少し、河川流況も悪化し取水量が減少した状況に相当する。

ここでT川からの導水量は、この期間の水利権量を基準に10%ずつ減少させることにした。また、case 2, case 3におけるダムへの流入量および河川取水量については、降雨量の減少が反映するものと仮定し、この期間における1/10, 1/20, 1/30の渇水年の理論降雨量を求め、実績降雨量との比率でF市におけるダム流入量および河川取水量の実績値から減少させることにした。表-1に1/10, 1/20, 1/30渇水年の理論降雨量と平成4年度の実績降雨量との比率を示す。

T川からの導水量が減少した場合、需要量を満足させるために減少分をダムから取水しなければならない。この場合各ダムについて、

$$\begin{aligned} (\text{余裕量}) &= (\text{各ダムからの取水可能量}) \\ &\quad - (\text{実績取水量}) \end{aligned} \quad (4)$$

表-1 確率渇水年における実績降雨量との比

	平成4年 年降雨量		平成4年9月～5年3月 降雨量	
	実績降雨量 (mm)	実績降雨量 との比率	実績降雨量 (mm)	実績降雨量 との比率
確率渇水年	理論降雨量 (mm)	実績降雨量 との比率	理論降雨量 (mm)	実績降雨量 との比率
1/10渇水年	1130	0.904	496	0.944
1/20渇水年	993	0.798	452	0.861
1/30渇水年	920	0.739	429	0.817

を定義し、6箇所のダムの余裕量の合計に対する各ダムの余裕量に応じて不足分の取水量を配分した。ここで各ダムの取水可能量は、水利権量とダム貯水量を比較して小さい値を用いることにした。また各ダムは、上水以外に工業用水や農業用水の確保や、河川の流況が悪化した場合に河川維持流量のための放流を行う必要がある。そこで、上水以外の用水に関しては次のように設定した。

$$\begin{aligned} (\text{上水以外の用水}) &= (\text{ダム実績放流量}) \\ &\quad - (\text{ダムからの上水取水量}) \end{aligned} \quad (5)$$

1/10, 1/20, 1/30 渇水年のいずれの場合も(5)式による値と同量だけ上水以外に用いられたと考え、ダム貯水量を減少させた。

### 5. リスク解析の結果

4.で示した期間におけるシミュレーションの結果を、設定したシナリオ毎に以下に述べる。

case 1: ダム流入量と河川取水量の実績値を用いて、T川からの導水量を減少させたシミュレーションの結果を図-5に示す。T川からの導水量が水利権量の30%まで減少すると、信頼度は0.48、回復度は0.17、深刻度は0.05となっている。これより、対象期間中の約1/2に相当する101日間で渇水が発生し、一度渇水に陥った時の平均継続期間は約5.9日(1/0.17)で、渇水期間中の平均不足率は約5%であることが分かる。また、T川からの導水量が水利権量の60%まで減少しても、信頼度、回復度ともに大きな変化はなく、F市の水運用に大きな影響はないと考えられる。

case 2: ダム流入量のみを1/10, 1/20, 1/30 渇水年に対し減少させ、河川取水量は実績値を用い、T川からの導水を減少させたシミュレーション結果を図-6, 7, 8に示す。1/10および1/20 渇水年の場合において

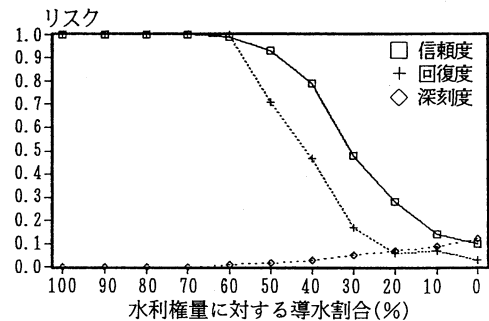


図-5 case 1におけるリスク解析の結果

は、T川からの導水量が水利権量の70%まで減少してもリスクは出ない。

case 3: ダム流入量と河川取水量の両者を減少させ、T川からの導水を減少させた場合のシミュレーション結果を図-9, 10, 11に示す。1/10 渇水年の場合、導水量が水利権量の70%まで減少しても信頼度の変化はなく渇水は発生しない。1/20 渇水年の場合、導

水量が水利権量の90%まで減少しても渇水は発生しないが、80%以下になると徐々に渇水発生期間が増加し、50%になると2日に1回の割合で渇水になることが分かる。1/30 渇水年の場合も、信頼度、回復度の見地から、F市の導水量が90%に減少してもF市の水運用に支障はないと考えられる。また、実績および1/10, 1/20, 1/30 渇水年における渇水期間中の平均渇水被害

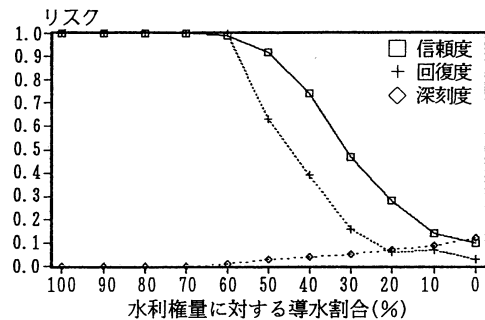


図-6 case 2におけるリスク解析の結果(1/10 渇水年)

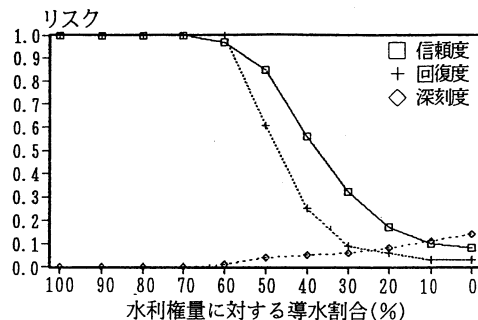


図-9 case 3におけるリスク解析の結果(1/10 渇水年)

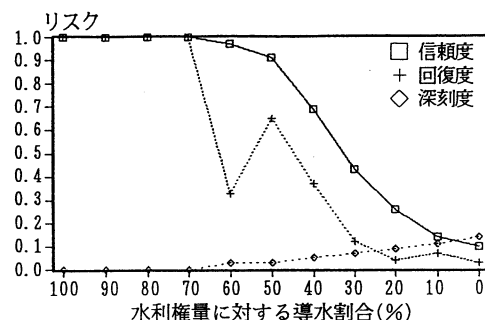


図-7 case 2におけるリスク解析の結果(1/20 渇水年)

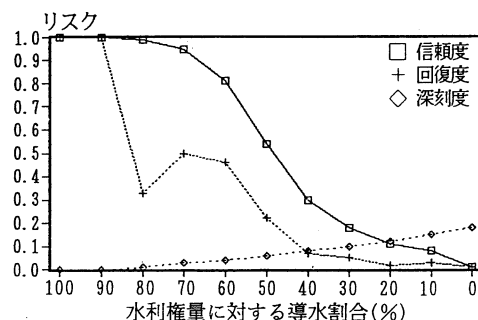


図-10 case 3におけるリスク解析の結果(1/20 渇水年)

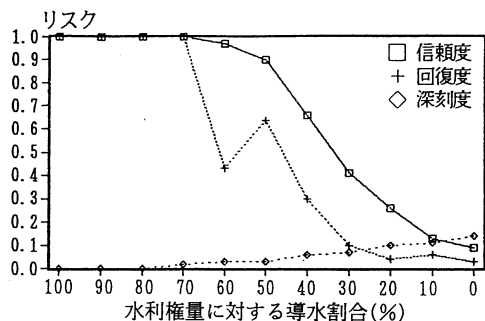


図-8 case 2におけるリスク解析の結果(1/30 渇水年)

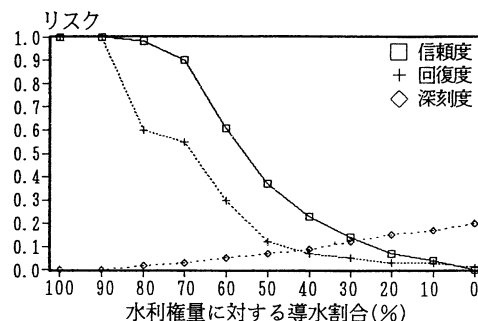


図-11 case 3におけるリスク解析の結果(1/30 渇水年)

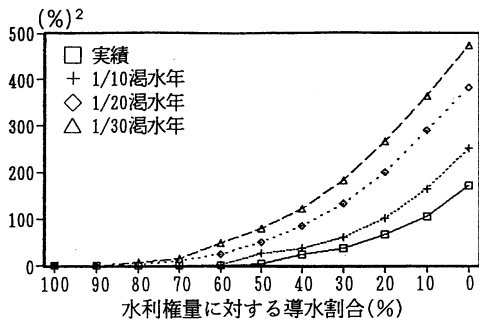


図-12 case 3 における渇水被害

(不足%)<sup>2</sup>を求めたものを図-12に示す。図によると、F市では導水量が水利権量の90%に減少しても、1/30渇水年に対して渇水被害は発生しないことが分かる。したがって、F市の利水安全度を低下させずに、T川からの導水量の約10%に相当する14,000 m<sup>3</sup>/日程度を周辺自治体に融通することが十分に可能であると考えられる。これは、周辺自治体全体の日平均給水量の約10%に相当し、例えば給水人口約44,000人のある自治体の平均給水量約12,000 m<sup>3</sup>/日を十分に補うことができる量であり、相互利水を行えば周辺自治体の利水安全度は大きく改善されるものと考えられる。

## 6. おわりに

F市とその周辺自治体の間において、F市の利水安全度が大きく低下しない範囲で、F導水におけるF市

への導水分の一部を周辺自治体へ融通することができるならば、自己水源の脆弱な周辺自治体の利水安全度が改善されると考えられる。そこで本研究では、水資源に関するリスク(危険度)の考え方を適用し、F導水を考慮したF市におけるリスク解析に基づくシミュレーションを行った。その結果、F市においてはT川からの導水量が水利権量の10%程度減少しても、F市の水運用にほとんど影響はないことが示され、これを周辺自治体に提供することは可能であると考えられる。

## 謝 辞

本研究にあたり、貴重な資料やご助言を頂いた関係各位に御礼申し上げます。

## 参 考 文 献

- 1) F市の水道(現状とこれからの課題): F市水道局, 1993.
- 2) F市水道事業統計年報: F市水道局, 1993.
- 3) 水道統計(施設・業務編): 社団法人日本水道協会, 1993.
- 4) F県の水道: F県保健環境部環境整備局整備課, 1993.
- 5) Tsuyoshi HASHIMOTO, Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria For Water Resource System Performance Evaluation, WATER RESOURCES RESEARCH, Vol.18, No.1, pp.14-20, 1982.