

水文・水資源学会誌  
J. Japan Soc. Hydrol. & Water Resour.  
Vol. 10, No. 3 (1997) pp. 259-269

## リスク解析による渇水レベルに応じた対応方策の評価

### Evaluation of Drought Remedial Policies Based by Risk Analysis

田尻 要\*

(西松建設(株)技術研究所)

Kaname TAJIRI

Technical Research Institute, Nishimatsu Construction Co., Ltd.

神野健二\*\*・河村 明\*\*

(九州大学工学部建設都市工学科)

Kenji JINNO・Akira KAWAMURA

Dept. of City Construction Engineering, Kyusyu University.

It is aware that decreasing precipitation of recent years has propelled a declining safety of water in urban areas. As a countermeasure, efforts are focused on expanding the use of existing water resources, and refining sea water for general use. In order to execute these policies, it is necessary to evaluate quantitatively the safety aspects maintained at each local government concerned with water management, in assessing the drought scenario. In this article, for evaluating the water system safety, *reliability*, *resiliency*, *vulnerability*, and also additional *DRI (Drought Risk Index)* are defined. Further, A-City, as our hypothetical study area, is examined for the effects of remedial policies for drought in the surrounding local governments during those droughts in years 1992 and 1994.

Key words: Drought, Risk analysis, Water management safety, Expanded water resources

近年の少雨傾向により、都市圏の利水安全度は実質的に低下していると考えられている。利水安全度の低下に対する方策として、水資源の広域利用化や安定水源として海水淡水化の導入などが着目されている。このような方策を実現するためには、想定される渇水レベルに応じて利水安全度の応答を定量的に把握し評価できる体制の確立が必要である。そこで本研究では、利水安全度の評価にリスク解析を導入し、信頼度、回復度、深刻度および新たに総合的な指標として *DRI (Drought Risk Index)* を定義した。本報では、想定する渇水レベルの事例として、A都市圏の中心都市であるA市における平成4年度および平成6年度の渇水を対象に、A市の水資源を周辺自治体へ融通することおよび安定水源の確保という渇水対策が利水安全度に与える影響や効果を検討した。シミュレーションによって求められる *DRI* をはじめとしたリスク指標を検討することは、水道事業の広域化や水資源計画など、施策の検討や効果の予測を評価する上で有効な手法であることを示した。

キーワード：渇水，リスク解析，利水安全度，広域利水

#### 1. はじめに

近年，平成6年度のように全国的な大規模渇水に限らず，各地で小規模な渇水が頻繁に発生しており，確率渇水年で1/10年という水資源計画における利水安全度は実質的に低下していると考えられている<sup>1)</sup>。利水安全度の向上を目指した長期的な方策として，各自自治体や水道企業団等は，水源の開発や施設の整備の促進などを実施しており効果を上げているが，

ダム建設適地の不足，諸用水間の競合激化，環境保全上の問題などから大規模な水資源開発は困難になっている<sup>2-4)</sup>。このような利水安全度の低下と水資源開発の現状に対して，水資源の広域利用化<sup>2,5-7)</sup>や，安定的に確保できる水源，例えば気候変動の影響を受けにくい海水の淡水化が注目されている。

水資源の広域利用とは，水源や施設の統合および配水管路の連結を行うことで水供給ネットワークを構築して自治体間における水の融通を行い，水源の

\*西松建設(株)技術研究所 〒242 神奈川県大和市下鶴間2570-4

Technical Research Institute, Nishimatsu Construction Co., Ltd. 2570-4, Shimotsuruma, Yamato Kanagawa, 242, Japan

\*\*九州大学工学部建設都市工学科

Dept. of City Construction Engineering, Kyusyu University

有効利用と渇水への対応力の向上によって渇水時における安定的な水資源確保と利水安全度の向上を目指した方策である。水道事業を広域的に一元化することは、水資源賦存量の格差の是正、渇水に対する弾力性の向上、スケールメリットによる維持コストの軽減など数多くの長所がある反面、これまでの水道事業の歴史や料金体系の相違など、事業の再編が容易ではない実態がある。水資源の偏在性のために広域利用化の実現が望まれる地域においては、時間をかけて社会環境との調和を充分に図るとともに、まず歴史的、社会的見地から関係地域における合意形成<sup>9)</sup>が不可欠であろう。また各自治体においては、海水淡水化のように安定して確保できる水源を持つことは、渇水時の緊急的な対応が必要な場合などに有効であると思われる。

このような方策を実現するためには、各自治体における利水安全度を定量的に把握し評価できる体制を確立する必要がある。現実には、自治体や水道事業者を対象とした渇水に関するアンケート<sup>9)</sup>によれば、渇水被害の軽減を目的とした対策を検討する場合に、予測や判断のための被害指標や評価基準など、効果が数量化されることの必要性が挙げられている。そこで本研究では、想定される渇水レベルに応じた水資源の運用計画や開発計画について、各自治体における利水安全度の応答のシミュレーションを目的にリスク解析<sup>10)</sup>を導入する。リスク解析は、渇水時において対象となる水供給システムを、信頼度、回復度、深刻度と、これらの総合的な指標であるDR<sub>I</sub> (Drought Risk Index)によって評価する手法である。これまでに筆者らは、リスク解析が自治体における水源の特性や施設的能力および自己水源の開発可能量などを評価する際の有効な手法のひとつであることを示している<sup>10,11)</sup>。

II. 本研究の背景と目的

A都市圏では、都市圏の流域に一級河川を持たず、地理的な制約などによって水資源の賦存量が少ないことから、流域外の一級河川であるE川からの導水を受けている(図-1参照)。A都市圏におけるE川導水への依存度は、中心都市のA市で日配水量の約30%、周辺自治体で日配水量の20~50%と高い。A市は自己水源の充実にも力を入れているが、周辺自治体では地理的・経済的制約から、充分に自己水源が確保されているとは言い難い状況も見られる。このため、E川の流況が悪化し導水の制限が行われた

場合に、A市と比較して周辺自治体の影響は大きいと考えられる。

このような状況の中、近年A都市圏では平成4年度と平成6年度に渇水が発生した。A市における年間降雨量について105年間の非超過確率を図-2に

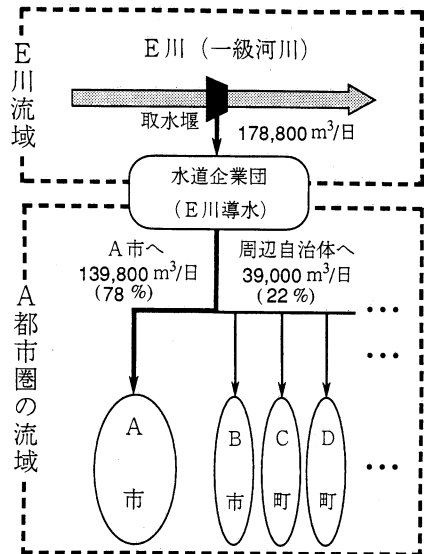


図-1 A都市圏における流域外からの導水

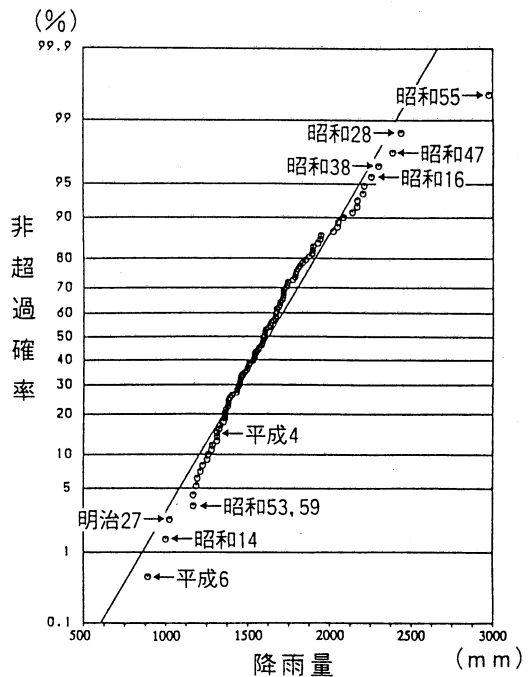


図-2 A市管区气象台における降雨量の非超過確率

示す。図中の直線は正規分布に対応する。これより、平成4年は約1/6、平成6年は観測史上最大の約1/167程度の渇水であったことがわかる。平成4年度の渇水は、A都市圏では非超過確率で1/6程度の降雨があったが、E川流域では1/25程度と降雨が少なく流況が悪化し、E川導水量が制限されたことが主な原因である。A市は比較的余裕があった自己水源で対応し影響は少なかったが、周辺自治体ではE川導水の依存度が高いことから被害を受け、同じ都市圏の中でも被害の程度に相違が生じた。平成6年度の渇水は、A市で105年間の観測史上第1位の少雨を記録するなど、A都市圏を含む周辺地域全体の高温・少雨が原因である。この大規模渇水は、安定的な新規水資源を確保することの必要性を提示した。これらの渇水を受けて、都市圏全体の水資源を広域的に利用することや、海水淡水化のような安定した新規水資源の確保など、行政<sup>13)</sup>や市民<sup>14)</sup>も認識を等しくしている。現在は今後の具体的な施策に期待されている状況である。

本報では、A都市圏の中心都市であるA市について、想定する渇水レベルの事例として平成4年度と平成6年度の渇水を対象に、リスク解析を用いたシミュレーションを実施し、求められるリスク指標により、渇水対策として水資源の広域利用と安定水源の確保が利水安全度に及ぼす影響を検討する。すなわち、平成4年度の渇水のような比較的小規模な渇水の場合に、A市の水資源の一部を自己水源の状況が悪化していた周辺自治体に融通することで、A都市圏全体の利水安全度が向上すると考える。このシナリオに基づいたシミュレーションによって、水資源の広域利用を実施した場合の、A市の利水安全度に及ぼす影響と広域利水の可能性をリスク指標によ

り検討する。また、平成6年度のように大規模な渇水では、A市の水資源の一部を融通することは難しいと思われる。そこでA市に、海水淡水化のように安定して確保できる新規水源の導入を考える。このシナリオに基づいたシミュレーションによって、安定した水源の確保が、A市の利水安全度の向上に与える効果をリスク指標により検討する。

### III. A都市圏における水資源の概要

事例解析の対象とするA都市圏における水資源の概要を述べる。近年、A市とそのベッドタウンとしての周辺自治体は、地方における文化・経済の一極集中により人口が増加し、水需要量の増加が続いている。また、A都市圏には一級河川がなく、後背地が浅いことからダムの建設適地に乏しいなどの地理的制約がある。A市を含む流域における平均降雨量は1,845mm/年、人口一人あたりでは1,902m<sup>3</sup>/年であり、全国の平均降雨量の1,749mm/年と比較すると概ね同量であるが、人口一人あたりでは全国平均5,529m<sup>3</sup>/年に対して約1/3にすぎない<sup>15,16)</sup>。また、降雨量の半分以上は6月の梅雨期から9月の台風期に集中しており、この時期に十分な降雨がなければ水資源の運用に大きな影響を与える。平成3～7年のA市管区気象台の降雨量を図-3に、E川上流域における降雨量を図-4に示す。特に平成6年度は、いずれの流域においても降雨量が少ないことがわかる。これにより、A市が水利権を持つ貯水池の有効貯水量も激減した(図-5参照)。また、図-6に示すようにE川の流況の悪化によってE川導水量も制限された。図-7に平成3～7年のA市の実績配水量を示す。ところで、平常時(渇水でない場合)の実際の水運用では、需要量の予測を行いそれを満足させる

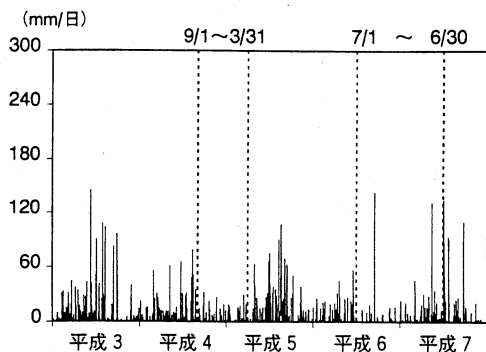


図-3 A市における降雨量(A市管区気象台)

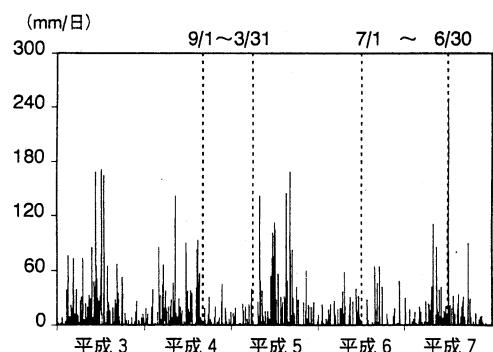


図-4 E川上流域における降雨量

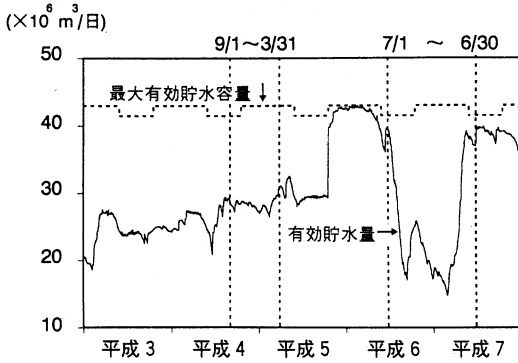


図-5 A市の自己水源(ダム貯水池)における有効貯水量

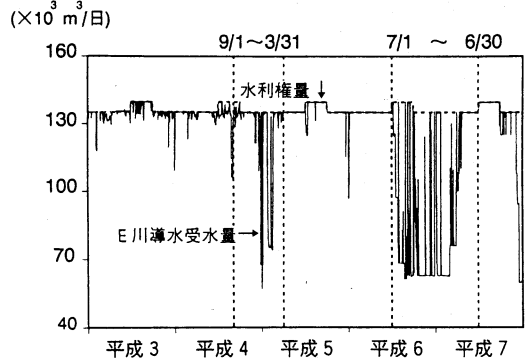


図-6 A市のE川導水受水量

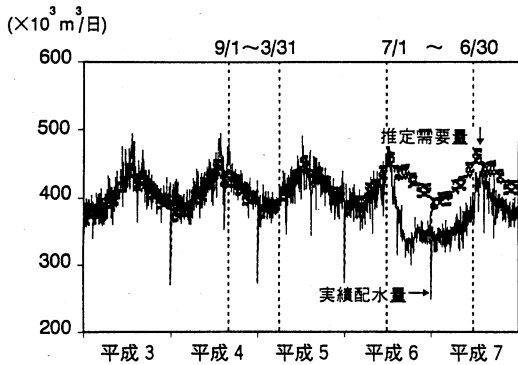


図-7 A市の水需給

ように供給を行うため、需要量と供給量は一致している。ところが、渇水時には水源の状況が悪化しているため、予測された需要量に応じた水量が確保できず、供給量は減少する。このように、渇水時の需給を検討する場合には需要量の推定が必要である。本報では、式(1)に示す推定モデルにより求められた推定需要量をV.のシミュレーションに用いている。

$$Q(t) = 14.91t + 403,392 \times (\text{月係数}) \times (\text{曜日係数または特殊日係数}) \quad (1)$$

ここに、Q：推定供給量(m<sup>3</sup>/日)

t：平成3年1月1日を起点(t=1)とした日数

これは、トレンド、月、曜日、特殊日による変動を考慮した日供給量推定式<sup>17)</sup>により求めたもので、トレンド成分を除いた値に各月の係数を乗じ、さらに特殊日においては特殊日係数を、それ以外の日には曜日係数を乗じ、最後にトレンド成分を加えることを意味する。トレンドの算定には平成3～5年の

3年間のデータを用いており、この推定式の実績配水量に対する平均誤差率は3.56%である。このようにして求めた平成6～7年の推定需要量を図-7中に示している。なお図-3～7中には、本報で対象とした平成4年度および平成6年度渇水の事例解析のシミュレーション期間を破線で示している。

#### IV. リスク解析の導入と指標の定義

利水安全度は水資源の利用に関する安定性を表す概念であり、不足%・日や不足%<sup>2</sup>・日など代表的な指標のほかに、渇水の「長さ」、「大きさ」、「厳しさ」、「経済的被害」など、渇水発生後の渇水被害を表現するいくつかの指標が用いられている<sup>4,18)</sup>。本研究では、リスクを表す、「信頼度」、「回復度」、「深刻度」の3つの指標<sup>10)</sup>と、新たにDRI (Drought Risk Index)を導入する。これらの指標の定義を以下に簡単に述べる。

##### ① 信頼度 (Reliability)

水供給システムが、必要な水量の基準を満たす確率であり、次式によって求められる。

$$\text{信頼度} = \frac{\text{供給量} \geq \text{需要量} \text{ を満たす日数}}{\text{対象期間日数}} \quad (2)$$

##### ② 回復度 (Resiliency)

渇水の継続性や立ち直りの早さを表し、次式によって求められる。

$$\text{回復度} = \frac{\text{渇水の発生回数}}{\text{渇水日数}} \quad (3)$$

回復度の逆数は一度渇水に陥った時の平均継続期間を意味する。

##### ③ 深刻度 (Vulnerability)

渇水の深刻さの度合を示す指標であり、次式によって求められる。

$$\text{深刻度} = \text{渇水期間中の総不足量}$$

／渇水期間中の総需要量 (4)

深刻度は渇水期間中の平均不足率を意味する。

④ DRI (Drought Risk Index)

現実の施策上では、さまざまな渇水の状況をも同時に把握して評価を行う場合も多いと思われる。このような場合に、渇水のどのような状況を重視するか、重み付けを含めた評価を行うことが可能な指標が必要となる。そこで、①～③の3つの指標の重み付き線形和をDRIとして新たに定義し総合的なリスクの指標とする。すなわち、

$$DRI = w_1 \cdot (1 - \text{信頼度}) + w_2 \cdot (1 - \text{回復度}) + w_3 \cdot \text{深刻度} \quad (5)$$

であり、 $w_1, w_2, w_3$ は各指標に対する重み係数である。評価の対象としている水供給システムにおいて、いずれの指標を重視するかにより係数を変化させた評価が可能である。信頼度、回復度、深刻度のそれぞれの指標が0から1の間の値であるため、DRIも式(5)の定義から同様の範囲で評価される。

V. A市におけるシミュレーションと結果の考察

1. 平成4年度渇水(A市の水資源を周辺自治体に融通する場合)の検討

1) シナリオの設定

A市の水資源の一部を自己水源の状況が悪化した周辺自治体に融通した場合、A市の利水安全度に与える影響を検討する。すなわち、A都市圏へのE川導水において、A市の受水量の一部を周辺自治体に振り当てる方策を考える。ここでは、E川導水の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7ヶ月間を渇水期間とみなして、シミュレーションの対象期間とする。また、以下に示すシミュレーションのシナリオを設定する。

ケース①：自己水源のダム流入量と河川取水量の実績値を用い、E川導水の受水量を変化させた場合。これは、A市では水文状況として平成4年度の実績値を用いるが、E川導水からの受水量が制約されるケースを想定している。

ケース②：自己水源のダム流入量を平成4年度の実績に対して減少させるとともに、ダム貯水を温存するためにダム取水量を制約させるが、河川取水量は実績値を用い、E川導水の受水量を変化させた場合。これはA市の運用として、ダム貯水の温存および河川取水優先という方針に対応している。

ケース③：自己水源のダム流入量と河川取水量の両者を減少させ、E川導水の受水量を変化させた場合。これは、A市において降雨量が少なく自己水源のダム取水量が減少し、流況の悪化により河川取水量も減少したケースを想定している。

なお、A市のE川導水の受水量は、水利権量を受水率100%とする。また、ケース②、③の、自己水源のダム流入量および河川取水量の減少は、降雨量の減少が反映されるとして、対象期間における降雨量の非超過確率1/10、1/20、1/30の渇水年降雨量を求め、実績降雨量との比で自己水源のダム流入量および河川取水量の実績値から減少させた(表-1参照)。本来ならば、降雨量に基づいた流入量予測を行うべきであるが、ここでは利水安全度の検討を主な目的としているため、このように簡便な手法をとっている。また、E川導水の受水量が制約された場合、需要量を満たすために不足量は自己水源のダムから取水すると仮定する。

2) 結果と考察

上述したシナリオに基づくシミュレーションの結果について、ケース毎に考察する。

表-1 平成4年度渇水における降雨量の実績値と理論値の比

平成4年度渇水のシミュレーション期間の降雨量 (平成4年9月1日～平成5年3月31日)		
確率渇水年	渇水年降雨量 (mm)	実績降雨量との比
1/10渇水年	496	0.944
1/20渇水年	452	0.861
1/30渇水年	429	0.817

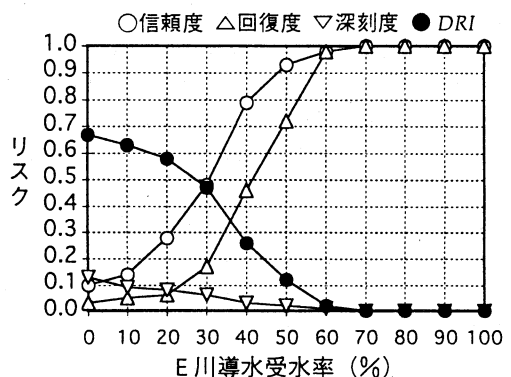


図-8 ケース①：実績運用によるリスク指標

ケース①：対象期間中の実績配水量と推定需要量を用いて、E川導水の受水率を変化させたシミュレーションで求められたリスク指標を図-8に示す。図-8の指標が表している意味を、例えばE川導水の受水率が30%の場合に着目して述べる。受水率が30%のとき、信頼度は0.48、回復度は0.18、深刻度は0.05、*DRI*は0.45である。これは、対象期間中のE川受水率が30%に制約されると、信頼度は0.48、つまり対象期間中の48%の期間のみで配水量が需要量を満足し、残りの52%の期間が渇水状態であることを表している。回復度は0.18となっており、この逆数が約5.6であることから、一度渇水状態に陥った場合の平均継続期間が約6日間であることを表している。深刻度は0.05で、渇水期間中の平均不足率が5%であることを表している。さらに、信頼度、回復度、深刻度を同じ重みで評価した場合、すなわち式(5)の各指標に対する重み係数 $w_1, w_2, w_3$ を1/3とした*DRI*は0.45となっている。

次に、図-8から、E川導水の受水率が70%に制約されても、信頼度、回復度、深刻度および*DRI*は生じないことがわかる。このことから平成4年度の渇水レベルでは、A市におけるE川導水量の30%(約42,000m<sup>3</sup>/日)を周辺自治体に融通することが可能であると考えられる。この約42,000m<sup>3</sup>/日は、A市の周辺自治体における1人1日平均給水量が約370リットル/日/人<sup>15,16)</sup>とすると、約113,500人/日の給水量に相当する。

ところで、渇水期間は可能な限り短い方が望ましい。しかしながら一般的な取水運用、特に渇水時においては、貯水池の水を温存する方針に基づく場合が多いと考えられる。すなわち、渇水期間は短いが一日当たりの不足率が非常に大きい渇水よりも、渇水期間が多少長くても生活に支障をきたさない程度の一日当たりの不足率を目指した運用である。これは、リスク指標の回復度や深刻度を重視して検討することに相当する。そこで、信頼度、回復度、深刻度のいずれかの指標を、残りの指標の2倍に重視した場合、つまり、式(5)の重視したい指標の重み係数を1/2、残りの指標の係数を1/4に考えた場合の*DRI*を図-9に示す。図-9において、例えば*DRI*が0.2の場合に着目すると、回復度を重視した*DRI*( $w_1=1/4, w_2=1/2, w_3=1/4$ )の受水率は48%、深刻度を重視した*DRI*( $w_1=1/4, w_2=1/4, w_3=1/2$ )の受水率は40%である。これは、期間中の平均不足率が多少大きくなって、渇水の平均継続期間を短くしたい

場合には48%の受水率が必要であることを示している。一方、渇水の平均継続期間が長くなって、期間中の平均不足率を小さくしたい場合は、40%の受水率が必要であることを示している。また、前者と比較して後者は、E川導水の受水率で8%の多くの水量を周辺自治体に融通できる可能性を示しているが、この水量をA市は自己水源から取水して補う必要がある。このように、*DRI*が等しい状況でも、いずれの指標を重視するかにより、運用方策の目的に応じて必要な水量を検討することが可能である。

以上のような渇水リスクの検討を行う場合に、図-10のように評価ダイアグラムとして視覚化すれば、*DRI*をはじめとするそれぞれの指標の大きさやバランスが把握しやすいと考えられる。これは、信頼度リスク： $R_1=w_1 \cdot (1-\text{信頼度})$ 、回復度リスク： $R_2=w_2 \cdot (1-\text{回復度})$ 、深刻度リスク： $R_3=w_3 \cdot \text{深刻度}$ と定義した、 $R_1, R_2, R_3$ を軸として、三角形の面積が大きいほどリスクが大きいことを表す。図-10は例として、図-8に示すケースで受水率が30%の場合の渇水リスクを評価ダイアグラムで示している。

ケース②：A市の降雨量が非超過確率で1/10, 1/20, 1/30になり、この影響で自己水源のダム貯水池への流入量が減少し、ダム貯水の温存のため取水量を制約するが、河川水源からの取水は実績通りに行われた場合の配水量と、推定需要量の関係から求められたリスクを図-11~13に示す。

降雨量が非超過確率で1/10(図-11)と1/20(図-12)の場合、E川導水の受水率が70%に制約されても、いずれの指標からもリスクは生じないことがわかる。降雨量が非超過確率で1/30(図-13)の場合、受水率が80%に制約されるとリスクが生じることがわかる。このことから降雨量の非超過確率が1/10~1/20では、A市におけるE川導水量の30%(約42,000m<sup>3</sup>/日)を、1/30では20%(約28,000m<sup>3</sup>/日)を周辺自治体に融通することが可能であると考えられる。図-13に示しているように、A市の流域で降雨量の非超過確率が1/30の場合でも、受水率が60%であれば、信頼度は0.96(対象期間の4%が渇水)、回復度は0.85(平均継続期間が1.2日)、深刻度は0.02(期間中の不足率が2%)、*DRI*は0.06となり、渇水被害としての影響は比較的小さい。

また、図-14は例として、図-13に示すケースで受水率が30%の場合の渇水リスクを評価ダイアグラムで示している。

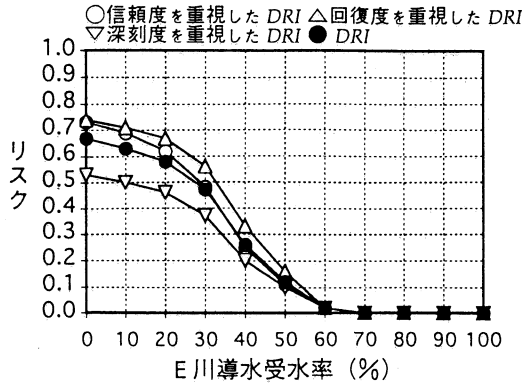


図-9 ケース①：各指標を重視したDRI

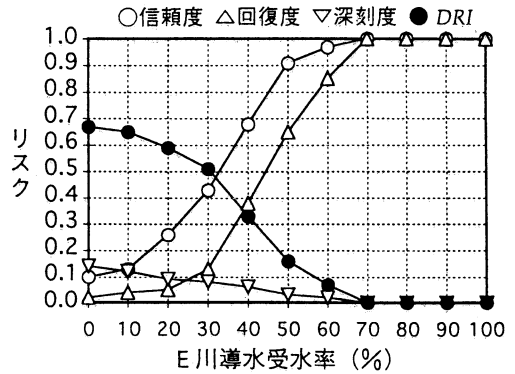


図-12 ケース②：1/20渇水年のリスク指標

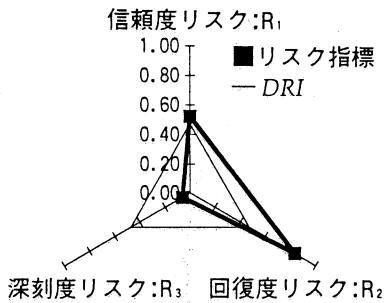


図-10 渇水リスクの評価ダイアグラム (実績運用, 受水率30%)

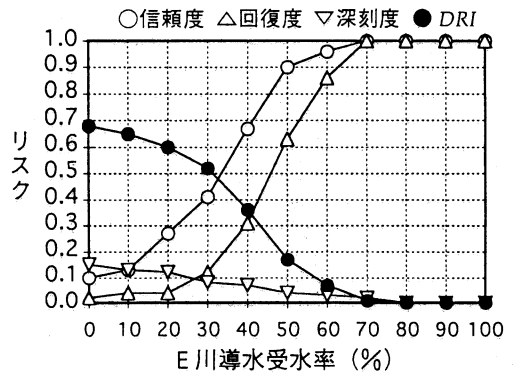


図-13 ケース②：1/30渇水年のリスク指標

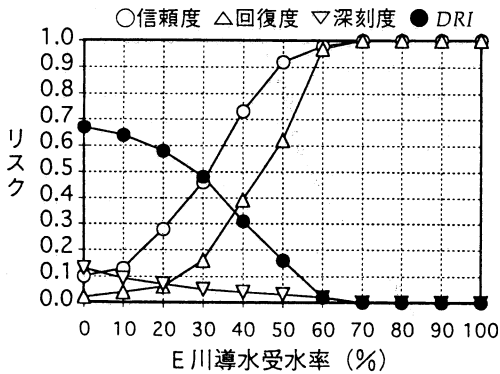


図-11 ケース②：1/10渇水年のリスク指標

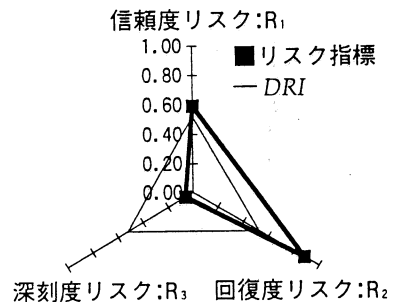


図-14 渇水リスクの評価ダイアグラム (1/30渇水年, 受水率30%)

次に、降雨量の非超過確率が1/10の場合について、ケース①と同様に各指標に重み付けをしたDRIを図-15に示す。ケース①の検討と同じように、例えばDRIが0.2の場合に着目すると、回復度を重視したDRIによる受水率は51%であるが、深刻度を重視したDRIによる受水率は46%である。渇水の平均継続期間の短縮を目的にする場合と、期間中の平均不

足率の減少を目的にする場合は受水率に約5%の差が生じる。これは、深刻度を重視したDRIでは、回復度を重視したDRIと比較して、E川導水の受水率で5%多くの水量を周辺自治体に融通できる可能性を示しているが、一方でこの水量をA市は自己水源から取水して補う必要がある。

ケース③：A市の降雨量が非超過確率で1/10、

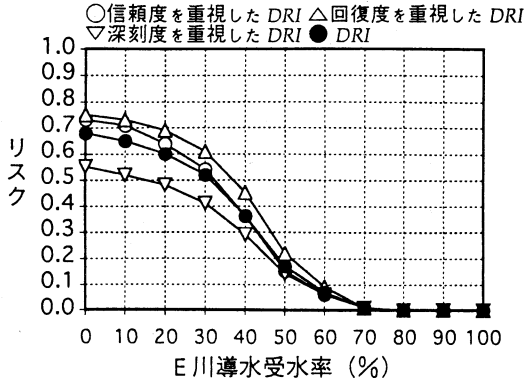


図-15 ケース②：各指標を重視したDRI

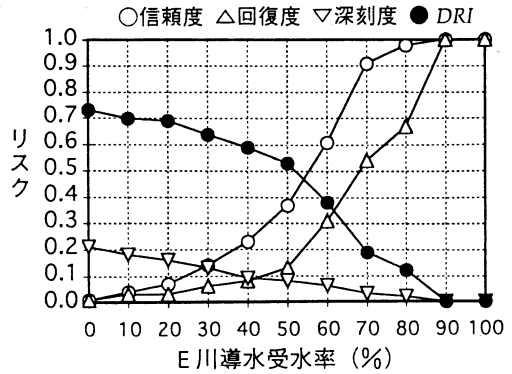


図-18 ケース③：1/30渴水年のリスク指標

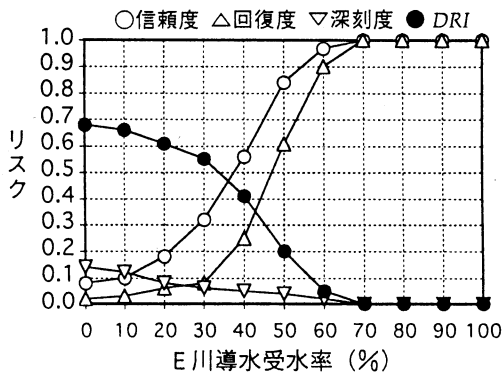


図-16 ケース③：1/10渴水年のリスク指標

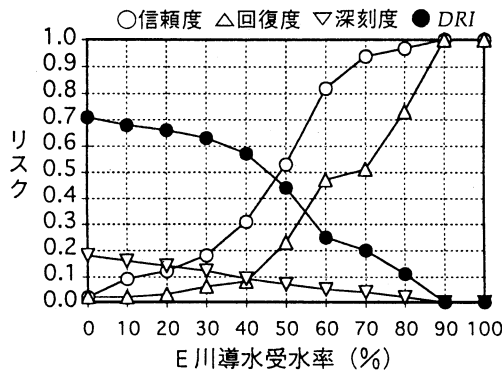


図-17 ケース③：1/20渴水年のリスク指標

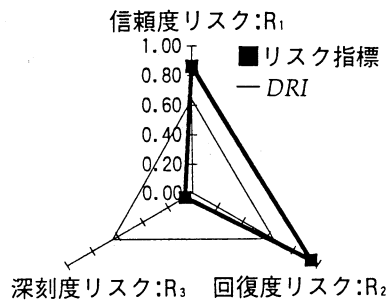


図-19 渴水リスクの評価ダイアグラム (1/30渴水年, 受水率30%)

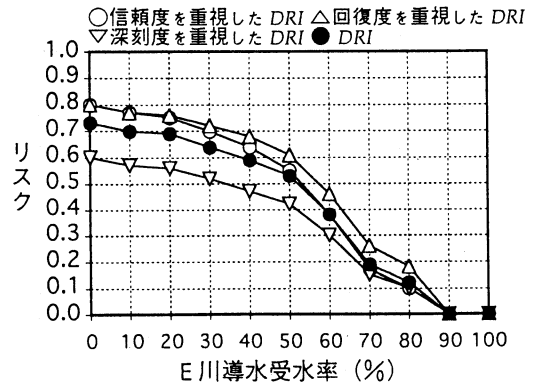


図-20 ケース③：各指標を重視したDRI

1/20, 1/30になり、この影響で自己水源のダム貯水池への流入量が減少し、河川の流況も悪化したことによって、両者の取水が制限された場合の配水量と、推定需要量の関係から求められたリスクを図-16~18に示す。

降雨量が非超過確率で1/10(図-16)の場合、ケー

ス①の場合と同様に、E川導水の受水率が70%に制約されても、いずれの指標からもリスクは生じないことがわかる。降雨量が非超過確率で1/20(図-17)および1/30(図-18)の場合、受水率が90%に制約されるとリスクが生じることがわかる。このことから降雨量の非超過確率が1/10では、A市におけるE川



導水量の30% (約42,000m<sup>3</sup>/日) を、1/20~1/30では10% (約14,000m<sup>3</sup>/日) を周辺自治体に融通することが可能と考えられる。

また、図-19は例として、図-18に示すケースで受水率が30%の場合の渇水リスクを評価ダイアグラムで示している。

次に、降雨量の非超過確率が1/10の場合について、ケース①と同様に各指標に重み付けをしたDRIを図-20に示す。ケース①および②の場合と比較して、いずれの指標を重視したDRIも、受水率が90%以下になるとリスクが生じることがわかる。

以上のケース①~③の考察を通じて、平成4年度の渇水レベルにおいては、A市の水資源の一部を周辺自治体に融通することは可能であることがわかる。最も条件の厳しいシナリオであるケース③のA市の降雨量を非超過確率で1/30と想定した場合で、A市のE川導水量の10% (約14,000m<sup>3</sup>/日) を周辺自治体に融通することが可能であることがわかった。約14,000m<sup>3</sup>/日の水量は、A市の周辺自治体における約37,800人/日の給水量に相当し、これを渇水の程度に応じて周辺自治体に融通できれば、利水安全度が改善されると考えられる。

2. 平成6年度渇水(A市に安定水源を確保した場合)の検討

1) シナリオの設定

平成6年度のような大規模渇水の場合、A都市圏においては、水資源の広域利用による利水安全度の向上は困難であったと思われる。そこで、A市に海水淡水化のような安定した新規水資源を確保した場合の、利水安全度に与える効果を検討する。

A市の自己水源のダム貯水量が急激に減少を始めた平成6年7月1日から、給水制限が解除された平成7年6月30日までの12ヶ月間を渇水期間とみなして、シミュレーションの対象期間とする。この期間に安定確保量を導入した場合の配水量と、推定需要量の関係から求められたリスクを図-21に示す。なお、導入する安定確保量は、実績配水量に安定確保量を加えた場合、推定需要量を超えない範囲とした。

2) 結果と考察

図-21の回復度とDRIに着目すると、90,000m<sup>3</sup>/日の確保量を導入すれば、リスクは生じないことがわかる。また、例えば70,000m<sup>3</sup>/日の確保量を導入した場合の回復度に着目すると、安定確保量を導入しない場合(回復度は0で期間中の全てで渇水状態)と比

較して、回復度は0.25(渇水の平均継続期間は4日)まで向上する。一方DRIに着目すると、約61,000m<sup>3</sup>/日の安定確保量を導入すれば、導入しない場合と比較してリスクは約50%に軽減されることがわかる。図-22は例として、図-21に示すケースで60,000m<sup>3</sup>/日の安定確保量を導入した場合の渇水リスクを評価ダイアグラムで示している。

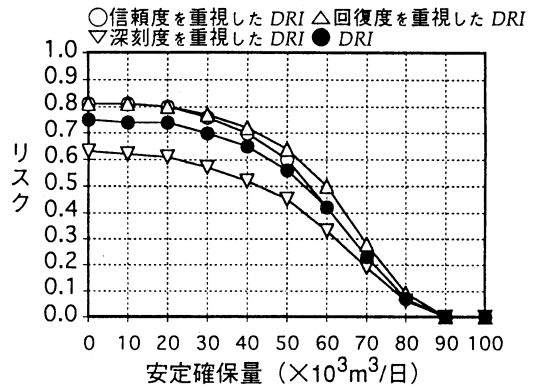


図-21 安定水源を確保した場合のリスク指標

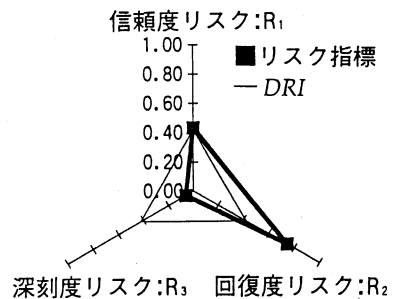


図-22 渇水リスクの評価ダイアグラム (安定確保量60,000m<sup>3</sup>/日)

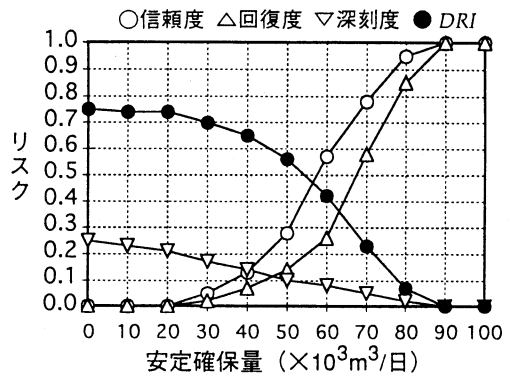


図-23 各指標を重視したDRI

V.1.の各ケースと同じように、各指標に重み付けをしたDRIを図-23に示す。例えば、リスクを0.4まで低下させたい場合、回復度を重視したDRIでは約64,000m<sup>3</sup>/日、深刻度を重視したDRIでは約55,000m<sup>3</sup>/日の安定確保量を導入する必要がある。これは、渇水の平均継続期間の短縮を目指す場合は、渇水期間における平均不足率の減少を目指す場合と比較して、約9,000m<sup>3</sup>/日のより多くの水量が必要であることを示している。このように、それぞれの指標に重み付けを与えたリスクを検討することは、渇水方策の決定と安定確保量の算定に有効な手法と考える。

## VI. おわりに

本研究では、利水安全度の評価にリスク解析を導入し、信頼度、回復度、深刻度および新たに総合的な指標としてDRIを定義した。これらの指標を用いた渇水レベルの事例解析として、A市における平成4年度および平成6年度の渇水を対象に、A市の水資源を周辺自治体へ融通することおよび安定水源の確保という対応方策が利水安全度に与える影響や効果を検討した。得られた主な結果を以下に示す。

- ① A市で平成4年度に発生した渇水レベルの水運用においては、E川導水の受水率が70%あればA市のリスクに影響はない。これは、A市の周辺自治体に約42,000m<sup>3</sup>/日(約113,500人/日)の給水量を融通できる可能性を示している。
- ② A市の平成4年度の水運用において、降雨量の非超過確率によって自己水源のダム貯水池と河川水源地からの取水量を制限したシミュレーションを行ったところ、非超過確率1/10で70%、1/20~1/30で90%の受水率があれば利水安全度への影響はない。これは降雨量が非超過確率1/20~1/30の場合で、A市の周辺自治体に約14,000m<sup>3</sup>/日(約37,800人/日)の給水量を融通できる可能性を示している。
- ③ 平成6年度に発生した渇水レベルの水運用においては、安定的に90,000m<sup>3</sup>/日の水量を確保すればリスクは生じない。一方、約61,000m<sup>3</sup>/日の安定確保量を導入すれば、導入しない場合と比較してリスクは約50%に軽減されることがわかる。
- ④ このような考察を通して、リスク解析を用いたシミュレーションによって求められるDRIをはじめとしたリスク指標を検討することは、水道事業の広域化や水資源計画など、渇水レベルに応じた被害の軽減を目的とした施策の検討や効果の予測

を評価する上で有効な手法といえる。

謝辞：本研究は、文部省科学研究費補助金(総合研究(A)「平成6年度渇水の気象・水文学的検証と渇水時のリスクマネジメントに関する研究」研究代表者：池淵周一)の助成を得ました。また、貴重なデータとご意見をいただいた、A市およびA都市圏の水道管理に携わっておられる職員の方々に深く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 丹羽 薫(1991)：地球温暖化と水資源、用水と廃水、Vol. 33, No. 1, pp. 35-42.
- 2) 千賀祐太郎(1989)：水資源のソフトサイエンス、鹿島出版会。
- 3) 中澤式仁(1981)：水管理の考え方、土木学会誌、1981-5, pp. 9-15.
- 4) 池淵周一(1988)：水資源システムにおける安全度概念の定式・定量化と計画論への応用に関する総合的研究、昭和61, 62年度科学研究補助金研究成果報告書。
- 5) 志村博康(1995)：渇水に対する3つの対応ステージと将来的課題、水道協会雑誌、Vol. 64, No. 7, pp. 77-82.
- 6) 浜田康敬(1995)：渇水と水道、水道協会雑誌、Vol. 64, No. 7, pp. 73-77.
- 7) 籾木儀郎(1995)：平成6年渇水と今後の水道整備、土木学会誌、Vol. 80, No. 8, pp. 84-86.
- 8) 志水茂明(1981)：水資源問題の現場から需給と開発を語る～水需給の長期見通し、土木学会誌、1981-5, pp. 19-22.
- 9) 白水暢・友野勝義(1995)：水道におけるリスク管理の現状、水道協会雑誌、Vol. 64, No. 1, pp. 32-41.
- 10) Tsuyoshi HASHIMOTO, Jerry R. Stedinger, Daniel P. Loucks (1982): Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria For Water Resource System Performance Evaluation, *Water Resources Research*, Vol. 18, No. 1, pp. 14-20.
- 11) Kenji JINNO, Xu ZONGXUE, Akira KAWAMURA, Kaname TAJIRI (1995): Risk Assessment of a Water Supply System during Drought, *Water Resources Development*, Vol. 11, No. 2, pp. 185-204.
- 12) 田尻 要・神野健二・河村 明(1996)：リスク

- 解析を用いたA都市圏の自治体における利水安全度の検討, 水文・水資源学会誌, Vol. 9, No. 5, pp. 404-413.
- 13) A県(1996): A県水資源総合利用計画(第4次).
  - 14) 九州大学出版会(1996): A市で学びA市で考える環境問題, pp. 63-67.
  - 15) A県水資源対策局(1994): A県における水事情(水資源の現況と今後の主要な課題).
  - 16) 社団法人日本水道協会(1993): 水道統計—施設・業務編—.
  - 17) 末吉信一郎・河村 明・神野健二・田尻 要(1993): A市における日配水量の統計的特性について, 土木学会西部支部1992年度研究発表会概要集, pp. 123-124.
  - 18) 国土庁長官官房水資源部(1994): 日本の水資源—健全な水循環をめざして—.  
(1996年10月4日受付, 1997年2月27日受理)