

リスク解析を用いた福岡都市圏の自治体における利水安全度の検討

Risk Analysis of Water Supply in Small Communities of Fukuoka Metropolitan Area

田尻 要*

Kaname TAJIRI

(西松建設(株)技術研究所)

Technical Research Institute, Nishimatsu Construction Co., Ltd.

神野健二**・河村 明**

Kenji JINNO・Akira KAWAMURA

(九州大学工学部建設都市工学科)

Dept. of City Construction Engineering, Kyusyu University

As a counter measure for declining safety of water supply system, recent efforts are focused on an integration of water resources and related facilities into an unified network system. In order to realize such system, quantitative evaluations of real capacities for water supply of individual communities are indispensable. In this respect, two local communities with different characteristics inherent to the water supply systems are studied by analyzing their risk against drought. The risk indices evaluated for two communities are reliability, resiliency, vulnerability and *Drought Risk Index (DRI)* of the water supply systems.

The following remarks though the risk analysis under various scenarios are obtained;

(1) A risk analysis is useful to characterize the water supply system. (2) By knowing what individual communities should do for increasing safety of water supply system. (3) Amount of water to be shared can be calculated. (4) It is appropriate to analyze the risk for the evaluation of water supply system. And this evaluation should be done for a feasibility study of an integration of water supply systems.

Key words: Water resources management, Risk analysis, Drought

近年の少雨傾向による利水安全度の低下に対して、既存の水源や施設の有効利用を目的に、水供給ネットワークを構築する水資源の広域利用化が注目されている。水資源の広域化に関して各自治体の合意を得るためには、基礎的な資料として各自治体の水源の特性や施設の能力および自己水源の開発可能量など、水供給システムの現状を定量的に評価し考察する必要がある。本報では事例解析として、福岡都市圏において自己水源の形態が異なる2つの自治体を対象に、リスク解析を適用したシミュレーションによる水供給システムの評価を行った。リスク解析の基礎的な指標である、信頼度、回復度、深刻度に、新たに*Drought Risk Index (DRI)*を定義し、特に*DRI*に着目して検討した。得られた主な知見は、各自治体に対するシミュレーションによって(1)水供給システムの特性が把握される。(2)利水安全度向上のための方策が明らかになる。(3)水資源の広域利用化に対して、融通が可能な水量を検討することができる。以上の点から、(4)リスク解析は、広域利水の可能性を検討するための有効な評価手法のひとつであると考えられる。

キーワード：水資源管理、リスク解析、渇水

I. はじめに

平成6年は各地で日最高気温の記録が更新され平年と比較して気温が高く、また地域によっては6～

8月の3ヶ月間の降雨量が平年の半分以下になるなど、記録的な高温・少雨によって水源の流況が悪化し全国的な渇水に陥った。この渇水により、水資源の管理者のみならず消費者も水資源の確保について

*西松建設(株)技術研究所 〒242 神奈川県大和市下鶴間2570-4

Nishimatsu Construction Co., Ltd, 2570-4 Simoturuma, 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

認識を新たにした。増加する水需要や渇水に対して、各自治体は水源の開発や施設の整備の促進などの対応策を実施しているが、都市用水における需要の増大、ダム適地の不足、諸用水間の競合激化、環境保全上の問題などから新規の水資源開発は困難になっている¹⁻³⁾。

福岡市周辺の自治体においては、平成6年のように大規模な渇水でなくとも、平成4年秋から平成5年春にかけて、さらには平成7年夏から平成8年春にかけてのような小規模な渇水が頻繁に発生しており、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⁴⁾。このような利水安全度の低下に対して、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、自治体間における水の融通を行い、水源の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周辺自治体の利水安全度を向上を目指した方策、すなわち水資源の広域利用化が注目されている^{1,5-7)}。

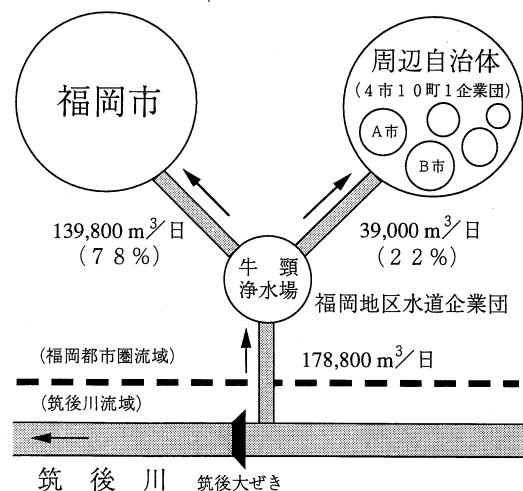
水道事業を広域的に一元化することは、水資源賦存量の格差の是正、渇水に対する弾力性の向上、スケールメリットによる維持コストの削減など数多くの長所がある反面、これまでの水道事業の歴史や料金体系の相違など事業の再編が容易ではない実態がある。水資源の偏在性のために広域利用化の実現が望まれる地域においては、時間をかけて社会環境との調和を充分に図るとともに、まず歴史的、社会的見地から関係地域における合意形成が必要である⁸⁾。このような水資源の広域化に関して各自治体の合意を得るためには、基礎的な資料として自治体毎の水資源の特性や施設の能力、自己水源の開発可能量など利水安全度の現状を定量的に把握し評価する必要がある。

ところで、水資源における諸問題は水系毎および開発に関する個別の技術上の問題として各々の分野で研究されてきた⁹⁾。しかしながら、今後は水資源の全体的な利用に関わる評価が個別の技術と同様にきわめて重要になると思われる。このような見地から、筆者らはこれまでに都市圏における統合的水管理システムの構築に向けて、複数水源からの最適取水やエキスパートシステムによる取配水管理を検討してきた^{10,11)}。本研究は上述の視点に立ち、水道事業の広域化を検討するに当たり合意形成の尺度のひとつとして、リスク(危険度)の導入を試み、リスク解析に基づいた自治体における水供給システムの評価を行う。

本報では事例解析として、福岡都市圏の中で、福岡市に隣接し近年ベッタタウンとして発展している2つの自治体を取り上げる。すなわち、福岡導水と井戸などを含む複数の自己水源を持つA市、および自己水源の2箇所のダムを同一の流域に持つB市である。A市については福岡導水における取水量の一部を融通することを考え、B市については本研究を行った時点で福岡導水の受水がないため、ここでは水源の新規開発量を考える。このような条件に基づき、A市およびB市の利水安全度の評価を、リスク解析に基づくシミュレーションを行うことで検討する。また、A市およびB市の両市の自己水源の形態の相違による利水安全度への影響を考察する。

II. 福岡都市圏における水資源の概要

近年、福岡都市圏は九州の中心として経済・文化の急激な一極集中が進んでおり、人口の増加による水需要量の増加が焦眉の問題となっている^{12,13)}。しかしながら、福岡市とその周辺自治体を含む流域は、後背地が浅くダム適地が不足しているうえに一級河川が存在せず、水資源の一部を他流域に依存せざるを得ない地理的制約がある。北部九州の平均降雨量は1,845mm/年、人口一人当たりでは1,902m³/年であり、全国平均と比較すると平均降雨量は1,749mm/年と概ね同量であるが、人口一人当たりでは全国平均5,529m³/年に対して約1/3にすぎない^{13,14)}。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、この時期に充分な降雨がなければ



図一 福岡地区水道企業団の概要

水資源の運用に大きな影響を与えることになる。

福岡都市圏では昭和53年の渇水¹⁵⁾をきっかけに、昭和58年から流域外の一級河川である筑後川の水をより有効に活用することを目的として、「福岡導水^{16,17)}」を行っている。この福岡導水は、主に筑後川水系の複数のダムによって確保される約2 m³/秒の水を長さ約25kmのトンネルを通じて福岡地区水道企業団の牛頸浄水場へと導水し、福岡市およびその周辺自治体(4市10町1企業団)へ供給するものである(図-1参照)。福岡導水の水利権量は、福岡都市圏全体で178,800m³/日であり、その中で福岡市が78%に相当する最大で139,800m³/日、周辺自治体が残りの22%の39,000m³/日を受水している^{17,19)}。この水利権量は期間によって変化する。例えば福岡市の場合、水需要が増加する7月から9月が139,800m³/日、10月から翌年6月が135,400m³/日である。福岡市の福岡導水への依存度は、福岡地区水道企業団の主な水源である江川ダムからの直接の取水量と合計すると、水道施設能力の約1/3である。また周辺自治体の福岡導水への依存度は、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¹⁶⁾。福岡都市圏では、増加する水需要に対応するため経年的に水を貯留しておく経年貯留型ダムの建設を目指している。しかしながら福岡都市圏としては、筑後川への依存度を高めざるを得ない状況にある。よって、筑後川の流況が悪化し導水が充分に行われなくなった場合、水供給が減少する状況に陥りやすいと考え

られる。

Ⅲ. A市・B市における給水の現状と平成4年渇水の概要

事例解析の対象としたA市およびB市における水資源の現状を以下に示す。

A市およびB市は福岡市のベッドタウンであり、平成4年における給水人口はA市が42,565人、B市が53,562人である。両市には特に大きな工場などもなく需要量の特性にほとんど相違はない。B市は近年、住宅地の大規模開発を行い急激に人口が増加している。

A市は水道水源に、福岡導水からの受水(6,700m³/日)および、自己水源として2箇所のダム(3,400m³/日,3,000m³/日)と2箇所の井戸(共に1,500m³/日)を持ち、総給水施設能力は16,100m³/日²⁰⁾である。またB市は、水道水源にY水道企業団(Yダム)からの受水(15,100m³/日)および、自己水源のダム(4,000m³/日)を持ち、福岡導水からの受水分(1,800m³/日)はA市が持つY水道企業団からの受水と振り替えられ、総給水施設能力は20,900m³/日である²¹⁾。Y水道企業団は、県営Yダムから上水として最大25,000m³/日を取水し関係自治体に供給している。A市およびB市の給水施設能力と水源の諸元を表-1に示す。

A市は上述したように複数の自己水源を持ち、また流域外の筑後川の水を福岡導水より受水しているため渇水時においても比較的給水制限になりにくい

表-1 A市およびB市における取水施設能力と水源の諸元

施設名		流域面積 (km ²)	総貯水量 (m ³)	有効貯水量 (m ³)	取水能力 (m ³ /日)	合計 (m ³ /日)
A市	A _{D1} ダム	4.00	72,000	68,000	3,000	16,100
	A _{D2} ダム	1.33	195,000	175,000	3,400	
	A _{W1} 揚水井	—	—	—	1,500	
	A _{W2} 揚水井	—	—	—	1,500	
	福岡地区水道企業団	—	—	—	6,700	
B市	B _{D1} ダム	1.75	85,300	57,461	4,000	20,900
	Yダム(Y水道企業団)	9.10	2,980,000	2,800,000	15,100	
	福岡地区水道企業団	—	—	—	1,800	

と予想される。一方B市は、自己水源のダムもYダムと同じ流域であることから、流域内に降雨がなければ他の流域に水源を持たないため、渇水が発生した場合の被害も大きくなると考えられる。

このような状況の中で、平成4年の夏から平成5年の春にかけて福岡都市圏では平年並みの降雨があったが、筑後川流域では十分な降雨がなく、筑後川の流況が悪化した。その結果、平成4年9月1日から平成5年3月31日までの7ヶ月間は、筑後川の取水制限の影響を受け、福岡都市圏の各自治体は福岡導水からの受水量が減少した。自己水源が比較的充実している福岡市では影響は少なかったものの、福岡導水への依存率が高く自己水源が必ずしも充分とはいえない周辺自治体では減圧給水や夜間断水などを実施した。平成6年に発生した渇水は、北部九州の全域に及ぶ未曾有の渇水であったが、平成4年から平成5年にかけての小規模渇水では、都市圏全体において自治体間の相互融通が可能であれば渇水の影響を小さくできたと考えられる。なお、この期間の確率降雨年²²⁾を求めると、A市で5年渇水、B市で8年渇水、筑後川中流の日田地方で11年渇水であった(図-2、図-3、図-4参照)。また、互いに隣接している自治体でも各自治体の自己水源の形態や

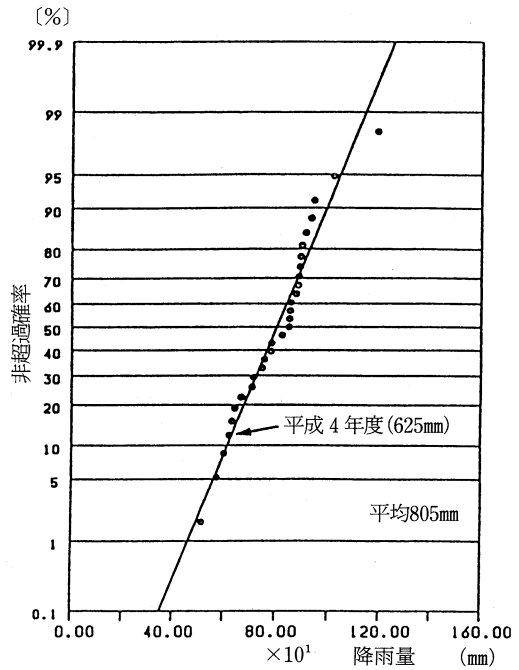


図-3 B市における7ヶ月間降雨確率分布

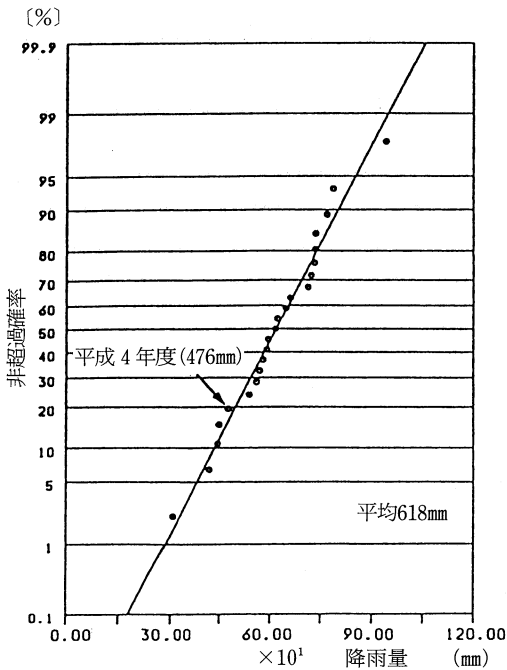


図-2 A市における7ヶ月間降雨確率分布

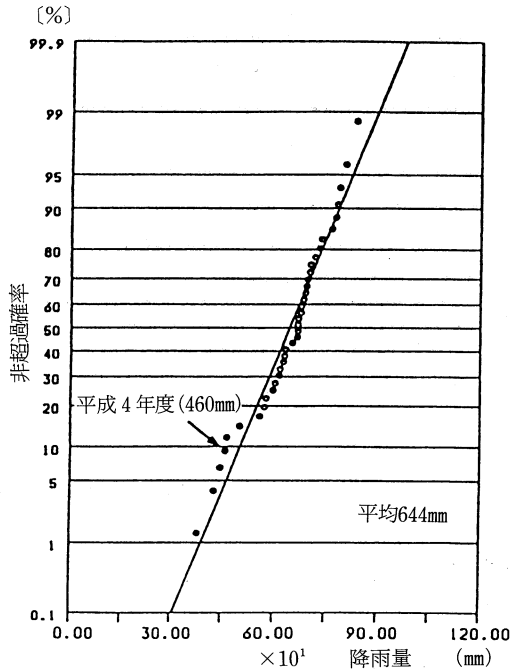


図-4 日田地方における7ヶ月間降雨確率分布

余力の差がそのまま渇水への対応の厳しさとなり、福岡都市圏の中でも自治体間において給水の状況に差が生じた。

IV. リスク解析手法

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%²・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^{3,23)}。

ところで、平常時(渇水でない)の場合、実際の水運用では需要量の予測を行い、それを満足させるように供給を行うため、需要量と供給量は一致している。そこで、需要量に関わりなく、供給体制にどの程度の余量があるかを検討するために、供給可能量(調達可能量の意味で、水源に着目すれば取水可能量ともいえる)を考える。例えば、豊水時には水利権の100%(施設能力の100%)が供給可能量に相当し、渇水時には水源の状況が悪化しているため、需要量に見合った量は取水できず、供給可能量は減少する。リスク解析は、ある期間における需要量に対する供給可能量の充足度などを検討するもので、特に渇水時における水供給システムの評価を行う手法である。

本報では上述の概念に対応し、水供給システムの特性を明らかにするために、「信頼度」、「回復度」、「深刻度」の3つの指標²⁴⁾を用いて評価を行う。これらの指標は以下の定義に基づいている。

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る。いま、 t 期におけるシステムの出力を $X(t)$ とし、出力が X_i レベルとなる確率を、

$$e(t, i) = p[X(t) = x_i]$$

$$(i = 1, 2, \dots, I; t = 1, 2, \dots, T) \quad (1)$$

とする。 I は確率変数の離散化数、 T は解析対象期間である。したがって t 期におけるシステムの信頼度は、

$$REL(t) = p[X(t) \in S] = \sum_{i \in S} e(t, i) \quad (2)$$

ここで、 S はシステムが安全(Safe)である集合を表す。信頼度は「(供給可能量 \geq 需要量)を満たす日数/対象期間日数」で求められる。

2) 回復度(Resiliency)

渇水の継続性や立ち直りの早さを表し、次式によって定義される。

$$RES(t) = p[X(t+1) \in S | X(t) \in F]$$

$$= \frac{\sum_{i \in S} p[X(t+1) = x_i, x(t) = x_i]}{\sum_{j \in F} p[X(t) = x_j]} \quad (3)$$

F はシステムが異常(Failure)である集合を表す。回復度は「渇水の発生回数/渇水日数」で求められ、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、渇水の強度を次のように定義する。

$$VUL(t) = \sum_{i \in F} v_i \cdot e(t, i) \quad (4)$$

v_i はシステムの出力が i レベルであるときの深刻さを表し、要求される出力を x_{opt} とすると、

$$v_i = \left(\frac{x_{opt} - x_i}{x_{opt}} \right)^\beta \quad (x_i \leq x_{opt}) \quad (5)$$

で与えられ、 $\beta = 1$ のときは不足%・日に相当する。深刻度は「渇水期間中の総不足量/渇水期間中の総需要量」で求められ、渇水期間中の平均不足率を意味する。ここでは $\beta = 1$ とした。

さらに、この3つの指標の重み付き線形和をDRI(Drought Risk Index)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、

$$DRI(t) = w_1[1 - REL(t)] + w_2[1 - RES(t)] + w_3 \cdot VUL(t) \quad (6)$$

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、いずれの指標に重みをおくかによって係数を変化させた解析が可能である。本報のシミュレーションではリスク解析の有用性の検討を目的としているため、各指標の係数をすべて同率の1/3とし、DRIの値によって評価を行うことにする。信頼度、回復度、深刻度のいずれの指標も0から1の間の値をとるので、DRIも式(6)の定義から同様の範囲で評価される。

V. A市・B市の水供給システムの安全度評価

本解析では、筑後川流域での降雨が少なく筑後川の流況が悪化し取水制限の結果、福岡導水からの受水量が減少した平成4年9月1日から平成5年3月31日までの7ヶ月間を対象にシミュレーションを実施する。

まず、A市は筑後川からの福岡導水量の増減量をパラメータとする。一方B市は、現在のところA市

との振り替えにより福岡導水からの受水が行われていないため、ここでは新たに何らかの水資源を確保するとして、その開発量をパラメータとする。実際の水運用では、取水能力および浄水場の処理能力によって、ダム貯水状態に関わらず取水が制限されている状況が見られる。そこでまず、以下に示す条件1のシミュレーションとして施設能力に着目したリスク解析を行う。これにより、施設能力などで制約される現状の水供給システムの評価が行われると考える。また、両市が現在の水供給システムで10、20、30年渇水になった場合と、給水人口の増加による需要量の増加を想定した場合も考える。

次に、条件2のシミュレーションとして、水需要に対し施設能力の制限を考慮せずに取水や浄水処理が可能な場合を想定したリスク解析を行う。このシミュレーションによって水源そのものの評価が行われると考える。ここでも両市が現在の水供給システムで10、20、30年渇水になった場合と、給水人口の増加による需要量の増加を想定した場合を考える。なお、シミュレーションにおいて、A市に関するケースに「A」を、B市に関するケースに「B」を付けて表す。なお、水源の貯水状況や取水運用に影響を及ぼす降雨データは、対象期間(7ヶ月間)の実績降雨量を用いる。

【条件1】 取水および浄水場の施設能力の制約を考慮したリスク解析

CASE(A1, B1) : 取水および浄水場の施設能力に着目した場合(対象期間の実績降雨量に対し、施設能力を変化させる)

CASE(A2, B2) : 両市の流域において対象期間の降雨量が10、20、30年渇水になった場合

CASE(A3, B3) : 給水人口の増加による需要量の増加を想定した場合(対象期間の実績降雨量に対し、給水人口を変化させる)

【条件2】 取水および浄水場の施設能力を制約しないリスク解析

CASE(A4, B4) : 両市の流域において対象期間の降雨量が10、20、30年渇水になった場合

CASE(A5, B5) : 給水人口の増加による需要量の増加を想定した場合(対象期間の実績降雨量に対し、給水人口を変化させる)

ここで、両市が10、20、30年渇水になった場合の利水シミュレーションは、次の手順で降雨量を自己水源のダムへの流入量に変換した。①各渇水年の理論降雨量を計算する。②平成4年度の降雨量との比率を計算する。③この比率を平成4年度のダムへの実績流入量に乗じて各渇水年のダムへの流入量を計算する。④このダムへの流入量を用いてダムの水収支を算出する。A市およびB市の各渇水年の理論降雨量と平成4年度の降雨量との比率を表一2に示す。本来ならば降雨とダムへの流入量から流出解析を行うべきであるが、本報では、リスクの概念を用いた両市の利水安全度の相対的な比較を目的としているため、上述のような簡便な手順をとっている。

以上のような、A市およびB市における水供給システムの安全度評価をシミュレートした各ケースの結果に対して考察を行う。

まず図一5に示すCASE(A1)の場合、A市は自己水源の取水および浄水場の施設能力を平成4年度時点の1.5倍に増加させると、福岡導水からの受水量が平常の70%の受水(30%の削減まで)があればリスクは生じず、現在の需要量に対して供給可能であることが分かる。これは自己水源に余力があると考えられ、施設能力を増加すれば利水安全度は向上することを表している。一方、B市は図一6に示すCASE(B1)の場合、平成4年度の実績降雨量に対してリスクが生じている。実際の運用では、Yダムなどに水利権を持つ農業用水の転用などで対応したため給水制限などは実施されなかった。また、取水および浄水場の施設能力を増加してもリスクの変化はほとんど見られない。よってB市は平成4年度状況では、代替水源などを含めた新規水源の確保を検討する必要があると考えられる。

図一7に示すCASE(A2)では、A市は同市の流域が平成4年度、10、20、30年渇水のいずれの場合もリスクはほとんど変化しない。これは、福岡導水か

表一2 A市およびB市における渇水年の降雨量と平成4年度実績降雨量の比

シミュレーション期間(9~3月)の降雨量		10年渇水	20年渇水	30年渇水
A市	渇水年降雨量(mm)	439	389	362
	実績降雨量との比	0.923	0.816	0.760
B市	渇水年降雨量(mm)	621	569	541
	実績降雨量との比	0.993	0.910	0.865

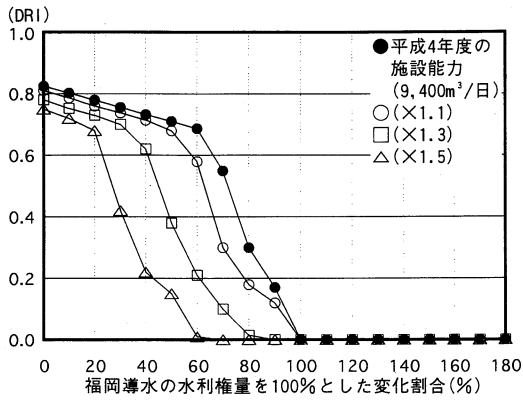


図-5 施設能力の評価：CASE(A1)

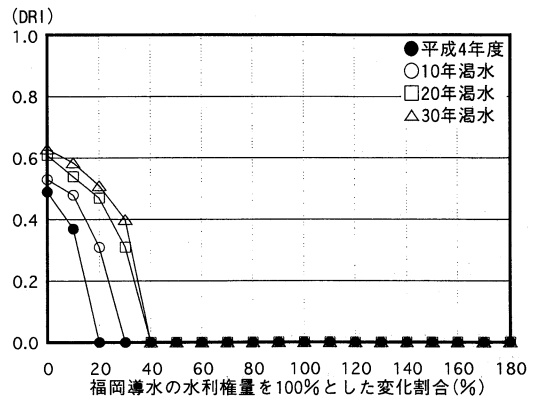


図-8 湧水に対する評価：CASE(A4)

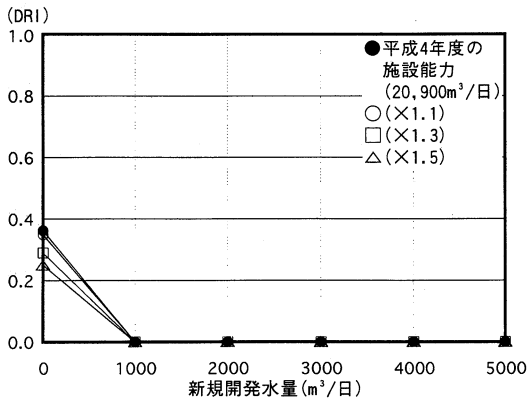


図-6 施設能力の評価：CASE(B1)

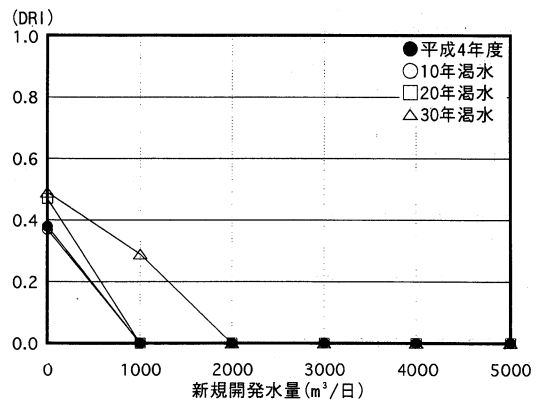


図-9 湧水に対する評価：CASE(B2)

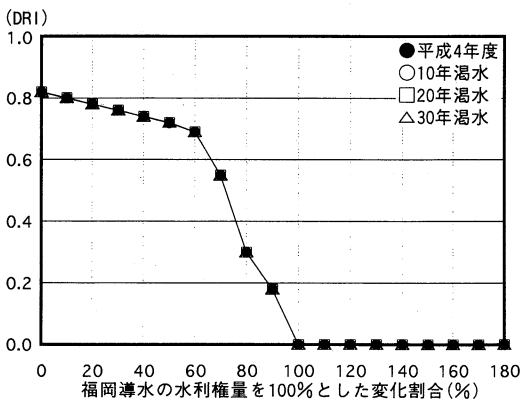


図-7 湧水に対する評価：CASE(A2)

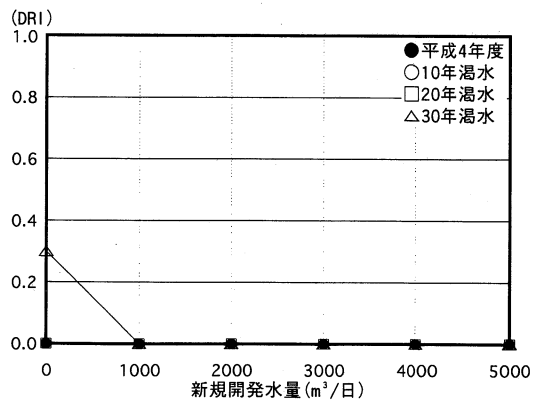


図-10 湧水に対する評価：CASE(B4)

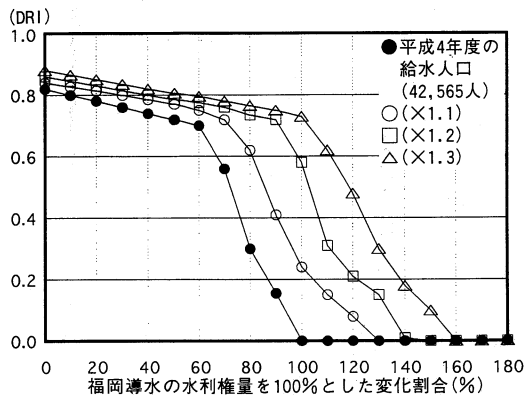


図-11 人口(需要量)の増加に対する評価：CASE(A3)

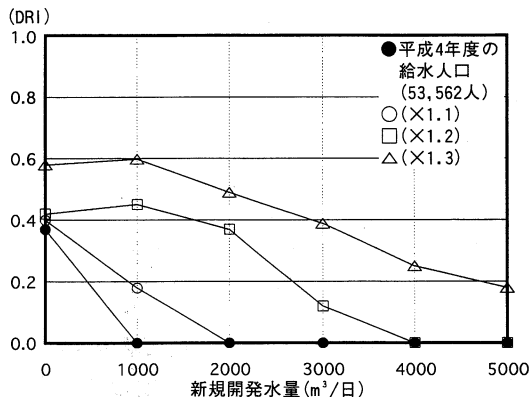


図-13 人口(需要量)の増加に対する評価：CASE(B3)

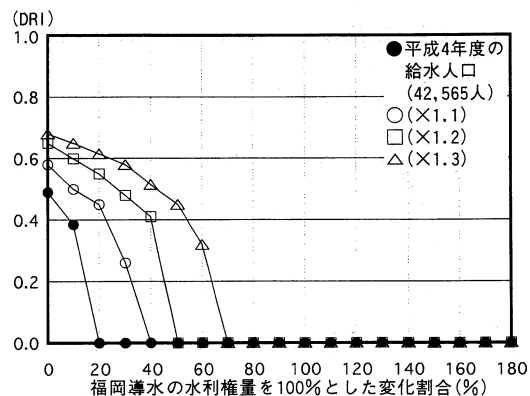


図-12 人口(需要量)の増加に対する評価：CASE(A5)

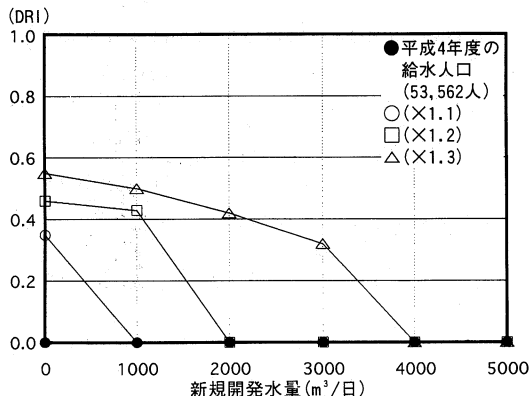


図-14 人口(需要量)の増加に対する評価：CASE(B5)

らの受水量を維持できれば、同市の流域が30年渇水に対しても供給が可能であることを示しているが、福岡導水の供給が制限された場合にはリスクが生じる。取水および浄水場の制約がない図-8のCASE(A4)と比較すると、CASE(A4)では30年渇水に対して福岡導水が平成4年度の40%程度(約60%の削減まで)あればリスクは生じていない。これはA市の自己水源には開発の余地があることを意味し、福岡導水への依存度を低減できる可能性を持つといえる。一方、B市では図-9に示すCASE(B2)で、平成4年度では施設能力の制約によって、B市流域でいずれの渇水でもリスクが生じるが、図-10に示すCASE(B4)では10、20年渇水でリスクはない。施設能力の制約がない場合、30年渇水に対しても新たに1,000m³/日の水源を確保すればリスクは生じないこ

とがわかる。

次に、給水人口の増加による水需要の増加に対するシミュレーションを考察する。A市では図-11に示すCASE(A3)より、福岡導水量が現在の受水量の160%まで受水が可能であれば、平成4年度の需要量の1.3倍まで供給できることが分かる。図-12に示す施設能力の制約がないCASE(A5)の場合は、福岡導水量の70%(30%の削減まで)が確保されれば需要量が平成4年度の130%に増加しても供給が可能である。B市では図-13に示すCASE(B3)より、平成4年度の施設能力では、需要量が1.2倍に増加した場合に4,000m³/日の新規開発を行うことが必要となる。また図-14に示す施設能力を考慮しないCASE(B5)の場合は、平成4年度の需要量が1.2倍に増加した場合、2,000m³/日の新たな水源の確保が必要と考えられる。

以上のシミュレーションの結果より、平成4年度においては相対的にA市がB市より利水安全度が高いと考えられる。特に施設能力の制約を考慮しないシミュレーションによって、A市は自己水源に余裕があること、すなわち水源そのものよりも取水能力や浄水能力に改善の余地があることが分かった。また、A市が複数の形態で水資源を確保しているのに対し、B市の水源は自己水源を含めて単一の流域に依存していることが、利水安全度に影響を及ぼしていると考えられる。

VI. おわりに

水資源の賦存量が少ない地域全体において利水安全度の向上を目指した広域利水の実現のためには、各自治体の合意を得ることが不可欠である。このための基礎的な資料として各自治体における水源の特性や施設の能力、自己水源の開発可能量など利水安全度の現状を定量的に把握し評価することが必要である。このような見地から本報では、福岡都市圏において自己水源の形態が異なる2つの周辺自治体を対象に、リスク解析に基づくシミュレーションを実施し、新たに定義した *Drought Risk Index (DRI)* 指標により水供給システムの評価を行った。得られた主な結論を以下に示す。

- (1) A市は、福岡導水から現在の70% (30%の削減まで)の受水があればリスクは生じない。また、福岡導水の供給が制限されなければ、自己水源が30年渇水になってもリスクは生じない。これは自己水源に開発の余地があり、複数の形態の自己水源を持つことで利水安全度が向上しているためと考えられる。
- (2) B市は、施設能力の向上によって10、20年渇水に対応できるが、30年渇水では新たに1,000m³/日の新規水源の確保が必要である。確保されている水源が自己水源も含めて単一の流域に依存しているため、降雨が減少した場合、貯水への影響を受けやすいと考えられる。
- (3) 以上のような考察を通して、各自治体における水供給システムの特性が把握され、利水安全度向上のための方策が明らかになった。また、水資源の広域利用化に対して、融通が可能な水量を検討できることから、リスク解析によるシミュレーションを行うことは、広域利水の可能性を検討するための有効な評価手法のひとつであると考えられる。また、研究を継続するにあたり、今後の課題とし

て以下の項目を挙げる。

- (1) リスク解析の対象とする自治体について、信頼度、深刻度、回復度の各指標を個別に検討することで、より詳細な水供給システムの評価を行う。
- (2) より多くの自治体のデータを収集し、自治体間のリスク解析を行うことで、水資源の広域利用化を実現するための現実的な検討を進める。

謝辞：最後になりましたが貴重なデータとご意見をいただいた、福岡地区水道企業団、福岡市水道局、A市およびB市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。また、当時の九州大学大学院生渡辺直久氏および末吉信一郎氏に御協力を得ました。ここに記して御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 千賀祐太郎(1989)：水資源のソフトサイエンス，鹿島出版会。
- 2) 中澤式仁(1981)：水管理の考え方，土木学会誌，1981-5，pp. 9-15。
- 3) 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。
- 4) 丹波薫(1991)：地球温暖化と水資源，用水と廃水，Vol. 33，No. 1，pp. 35-42。
- 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) 中澤式仁(1991)：水資源の科学，pp. 2-4，朝倉書店。
- 10) 田尻要・神野健二・河村明・飯田英彦(1992)：利水安全度を考慮した河川およびダム取水量決定システムの構築，水文・水資源学会1991年研究発表会要旨集，pp. 62-65。
- 11) 田尻要・末吉信一郎・神野健二・河村明(1993)：都市圏における取水量決定支援エキスパートシステムの構築，水文・水資源学会AI技

- 術利用シンポジウム論文集, pp. 91-96.
- 12) 金澤良雄(1981): 水資源と法制, 土木学会誌, 1981-5, pp. 5-7.
 - 13) 福岡県水資源対策局(1994): 福岡県における水事情(水資源の現況と今後の主要な課題).
 - 14) 社団法人日本水道協会(1993): 水道統計一施設・業務編一.
 - 15) 渡辺義公(1979): 福岡市の湧水報告, 土木学会誌, No. 3, pp. 101-103.
 - 16) 福岡県環境整備局(1993): 福岡県の水道.
 - 17) 水資源開発公団筑後川開発局(1994): 筑後川開発.
 - 18) 福岡市水道局(1993): 福岡市の水道一現状とこれからの課題一.
 - 19) 福岡市水道局(1993): 福岡市水道事業統計年報.
 - 20) A市水道課(1993): 私たちの水道.
 - 21) B市水道局(1993): B市の水道.
 - 22) 春日屋伸昌(1986): 水文統計学概説, 鹿島出版会.
 - 23) 国土庁長官官房水資源部(1994): 日本の水資源一健全な水循環をめざして一.
 - 24) Tsuyoshi HASHIMOTO (1982): Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria For Water Resource System Performance Evaluation, *WATER RESOURCES RESEARCH*, Vol. 18, No. 1, pp. 14-20.

(1996年2月23日受付, 1996年6月18日受理)