

II-87

F T Aによる淀川渇水の構造解析

京都大学大学院 学生員 白村 暁
 京都大学防災研究所 正員 池淵 周一
 京都大学大学院 学生員 宮川 裕史

1. はじめに 本研究ではF T A (Fault Tree Analysis) を用いて、淀川を例に、枚方取水点での取水カットを淀川水系での水供給システムにおけるシステム全体の特定欠陥事象(頂上事象)として、その発生要因の遡及解析によりF T図を作成し、さらに、このF T図を用いて渇水事象の因果関係を構造重要度, 確率重要度などで考察することにより、従来、ともすれば経験的・感覚的に論じられてきた渇水問題に対して、定性・定量両面から論理的なアプローチを試みる。

2. F T図の作成 F T Aでは中間的・過渡的な状態をとる事象や時系列的変化をとる事象を取り入れることは困難である。そこで、一般にこれらの性質を持つ渇水事象にF T Aを適用するため、本研究では枚方取水点において計画取水量確保の状態からなんらかの原因により取水が制限されるもしくは取水が不可能となることとして、渇水を定義する。今回想定した領域を図1に示す。F T図作成の都合上、各河川上の水利施設や合流点を境界として、領域を区分した。取水カット発生要因は大別して、1)水利施設の不備、2)河川からの不法取水(過剰取水)、3)水質障害、4)異常少雨、5)琵琶湖での湖面蒸発量の異常増加の5種類を想定し、これらを順に事象I~V系と置く。

また、F T図は次のことを前提として作成した。a)三川の流量規模を考慮して、桂川や木津川での単独の流量低下では、三川合流点直後の流量低下は発生しないものとする。b)気象予測のF T図への取入れは行わない。c)A₂'区間の流量は考慮しない。d)異常気象に関する事象はその発生確率が無次元で与えられるとする(つまり確率の逆数は再現期間を表すものではない)。e)異常少雨の生起する領域としては、A₃域、B₂域、C₂域、C₃域を想定し、F T Aの前提に則り各地域での異常少雨および湖面蒸発量の異常増加は、相互に独立とする。f)今回の解析では、おもに流量を重視し、水質障害についての細かい展開は行わない。g)C₃域の調整施設である室生ダムおよび青蓮寺ダムは1つのダムとして取り扱う。これらの前提を基に作成したF T図を、Boole 代数で論理演算を行い簡易化したものが図2である。図2において、各基本事象は各事象系に属する事象にその発生領域をサフィックスとして示している。例えば宇治川におけるI₃とは、A₃域での水利施設の不備(ここでは洗堰での不備)を表わしている。

3. F T Aの適用結果と考察 定性的解析として、作成したF T図の最小カットセット・最小パスセットを求めると、渇水は定性的にその発生要因に比して抑制要因の少なさから生起が十分に予想されうるものであるといえる。また、F T図自体の持つ構造的特徴として各基本事象の構造重要度(SI)を求めた(表1)。表1より、渇水事象の各要因の中では、琵琶湖-宇治

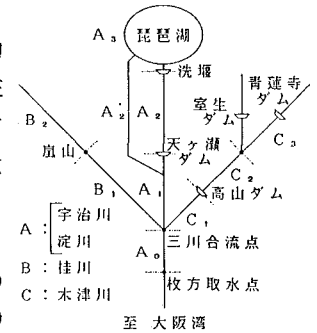


図1 想定領域

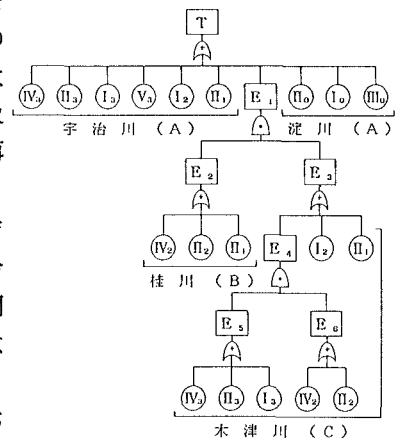


図2 枚方取水点での取水カットを頂上事象としたF T図

表1 構造重要度

河川	基本事象	SI × 10 ⁴
A	IV ₃ , II ₃ , I ₃ , V ₃ , I ₂ , II ₁ , II ₀ , I ₀ , III ₀	7.820
B	IV ₂ , II ₂ , II ₁	4.463
	I ₂ , II ₁	2.937
C	IV ₂ , II ₂	1.869
	IV ₂ , II ₂ , I ₂	0.801

川・淀川のライン上で発生する要因が取水カットに対する致命的要因であることがわかる。さらに、本研究における桂川と木津川の取扱いでは、水利施設の無い桂川の方が渇水に対する潜在的寄与度が大きいこともわかった。次に、定量的解析の結果であるが、各基本事象の生起確率は、事象Ⅰ～Ⅲ系については、0.0001～0.01、事象Ⅳ系については、0.1～0.2、事象Ⅴ系については、0.001～0.1で設定した。この場合、渇水の発生確率は、0.1024～0.3382となり、つまり10年間での渇水発生期待値は、1～3回程度となった。また、各基本事象の確率データとして、Pattern 1:事象Ⅰ～Ⅴ系すべて最小値、Pattern 2:同最大値、Pattern 3:事象Ⅰ～Ⅲ系が0.001、事象Ⅳ系が0.15、事象Ⅴ系が0.01、の3通りの場合を考え、この内Pattern 3の確率データを与えた場合の確率重要度

表2 確率重要度

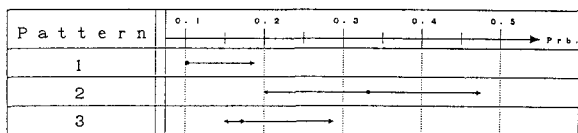
河川	基本事象	P I
A	Ⅳ ₃	0.9794
	Ⅴ ₃	0.8409
	Ⅱ ₃ , Ⅰ ₃ , Ⅰ ₂ , Ⅱ ₁ , Ⅱ ₀ , Ⅰ ₀ , Ⅲ ₀	0.8331
C	Ⅰ ₂ , Ⅱ ₁	0.1237
B	Ⅳ ₂	0.0207
C	Ⅳ ₂	0.0192
	Ⅳ ₃	0.0191
B	Ⅱ ₂ , Ⅱ ₁	0.0176
C	Ⅱ ₂	0.0163
	Ⅱ ₃ , Ⅱ ₃	0.0162

表3 クリティカリティ重要度

河川	基本事象	C I × 10 ⁴
A	Ⅳ ₃	8770
	Ⅴ ₃	502.0
B	Ⅳ ₂	185.5
C	Ⅳ ₂	171.7
	Ⅳ ₃	170.5
A	Ⅱ ₃ , Ⅰ ₃ , Ⅰ ₂ , Ⅱ ₁ , Ⅱ ₀ , Ⅰ ₀ , Ⅲ ₀	49.74
C	Ⅰ ₂ , Ⅱ ₁	7.387
B	Ⅱ ₂ , Ⅱ ₁	1.052
C	Ⅱ ₂	0.974
	Ⅱ ₃ , Ⅰ ₃	0.967

(P I)、クリティカリティ重要度(C I)をそれぞれ表2、表3に示す。表2の確率重要度をみると、琵琶湖域の異常少雨および湖面蒸発量の異常増加の2要因が、その発生確率の変動分がほぼそのまま取水カットの生起確率の変動分として効いてくる程の重要要因であることがわかる。他のPatternにおいても同様の結果が得られた。表3のクリティカリティ重要度をみると、この2要因の中で特に琵琶湖域の異常少雨の重要性が傑出している。また、湖面蒸発量の異常増加は、桂川・木津川の異常少雨よりも重要性が高くなっているが、他のPatternの値と比べた場合、事象Ⅰ～Ⅴ系の各確率の相対的大小関係の違いにより、琵琶湖・宇治川・淀川ライン上のⅠ～Ⅲ系の事象が桂川・木津川での異常少雨と同程度

の重要性となる場合や、桂川・木津川での異常少雨が琵琶湖の湖面蒸発量の異常増加よりも重要性が高くなる場合のあることがわかった。さらに、先の3パターンの確率を与えて、基本事象間の依存性(Association)を考慮した渇水事象の発生確率の結果を図3に示す。ただし、これは全ての基本事象がアソシエイトしている場合であり、発生確率の厳密な評価がほとんど不可能であるため、図中の矢印で示した上限値と下限値で評価した。また、図中の●は、通常計算(全ての基本事象を独立として計算した場合)の渇水の発生確率は、Pattern 1および3では基本事象間に依存性が存在するとほとんどの場合で渇水の発生確率が増加する傾向にあることがいえるが、これに対し、Pattern 2では、アソシエイトする基本事象の組合せと程度により、渇水の発生確率が増加する場合も減少する場合もあることがわかる。なお、事象Ⅳ、Ⅴ系に属する事象間のように依存性のある基本事象が一部に存在する場合の渇水の生起確率に対する近似評価式の誘導もおこなっているが、紙面の都合により省略する。

図3 アソシエイト分析による
上限値と下限値

度の重要性となる場合や、桂川・木津川での異常少雨が琵琶湖の湖面蒸発量の異常増加よりも重要性が高くなる場合のあることがわかった。さらに、先の3パターンの確率を与えて、基本事象間の依存性(Association)を考慮した渇水事象の発生確率の結果を図3に示す。ただし、これは全ての基本事象がアソシエイトしている場合であり、発生確率の厳密な評価がほとんど不可能であるため、図中の矢印で示した上限値と下限値で評価した。また、図中の●は、通常計算(全ての基本事象を独立として計算した場合)の渇水の発生確率は、Pattern 1および3では基本事象間に依存性が存在するとほとんどの場合で渇水の発生確率が増加する傾向にあることがいえるが、これに対し、Pattern 2では、アソシエイトする基本事象の組合せと程度により、渇水の発生確率が増加する場合も減少する場合もあることがわかる。なお、事象Ⅳ、Ⅴ系に属する事象間のように依存性のある基本事象が一部に存在する場合の渇水の生起確率に対する近似評価式の誘導もおこなっているが、紙面の都合により省略する。

4. おわりに 今回の解析では、琵琶湖流域での異常気象が淀川渇水発生に対する致命的要因となることが定性・定量的に導かれ、また、桂川が木津川より渇水発生に対しての寄与度が大きいことがわかった。今後の課題としては、1)よりリアルに渇水をF T Aで取り扱うために、時系列的变化をF T 図に取り込む検討を行う、2)複数の代替F T 図を作成して、相互比較を行う、3)気象予測のF T 図への導入を検討する、4)事象Ⅰ～Ⅲ系に属する事象の発生状況・発生確率などのより詳しい解明に努める、があげられる。

《参考文献》 井上威恭監修，総合安全工学研究所編：F T A安全工学 日刊工業新聞社（1979）