

水資源のリスクマネジメントに関する 2, 3 の計画論的考察 —都市の複合災害下における—

岡田 憲夫・北畑 貴史

RISK MANAGEMENT OF WATER UTILIZATION UNDER MULTIPLEX DISASTER -A PLANNING APPROACH

By Norio OKADA and Takashi KITAHATA

Synopsis

This paper addresses the need for analyzing potential risks involved in lifeline systems of water utilization under the occurrence of a multiplex disaster such as the Great Hanshin-Awaji Earthquake. A systematic methodology for analyzing such disaster risks is proposed, with an application to the earthquake-stricken region of Kobe.

Bottlenecks of water utilization on systems of hospitals have been identified by use of the proposed methodology. In conclusion it is suggested that further case studies may be needed to examine the applicability of the proposed model.

1. はじめに一水利用のマネジメントのペリペティア

ギリシア語に源を発する英語の一つに peripeteia (ペリペティア) という言葉がある。これは peri + peteia と分解でき、「周縁に落ちる」—「事情が大激変する」ような有為転変を意味する。転じて、古代ギリシアでは世の中が大転回したときに、役に立つことや大事なことが様回りすることを指す政治的、社会的な意味あいの言葉として使われたという。

阪神大震災は水利用マネジメントにとって正に「ペリペティア」であったといえる。すなわち、今回の大震災により水利用マネジメントに潜んでいた大きな「空白領域」が露出した。それは、我々が水利用のマネジメントに想定していた、常識論的コンテクストに関する「周縁への転倒」= ペリペティアであったといえる。その結果、常識論的コンテクストの外側に広がるマネジメントの及ばない「空白領域」が忽然として姿を現した。具体的には例えばこうである。今回の大震災により、水道や下水道などの水系のライフラインのネットワークが一瞬にして壊滅的な打撃を受けた。その結果、各末端利用者レベルで震災直後から公的なライフラインサービスとしての水利用が完全に不可能になった。それは、水利用に関する代替的・応急的サービスも含めて一切が一定期間(1～数日)不可能になったという点で、これまでの常識的に想定された災害コンテクストの枠外に出るものであった。

瞬時にして広域に拡大した複合型の被災により、例えば、道路ネットワークや通信ネットワークが寸断され、交通上、あるいはコミュニケーション上のアクセス手段が奪い取られてしまうことが同時に生じたことも関係している。その結果、末端の水利用者は暫くの間、水利用のマネジメントに関して、全くの「自力対応」を余儀なくされることになった。つまり、次のような常識論的コンテクストの第一テーゼとでも言うべきものが成立し得なくなったのである。そして、そのアンティテーゼが浮かび上がった。

常識論的テーゼ1: どのような非常事態であっても、何らかの公的水利用サービスは最低限提供される。

アンティテーゼ 1：非常事態にあっては、一定期間水利用者個々人の自己責任の下で自力で水利用のマネジメントを行わなければならないことがあり得る。

末端の水利用者は、行政側からみれば私的水利用セクターであるが、本来（平常時にあっても）その利用目的において、何らかの公的（社会的）性格を有した（あるいは公的配慮を必要とする）水利用を行っているものが少なくない。ところが、水道・下水道行政の立場から見れば、このような末端の水利用者セクター内での水利用のマネジメントは、それが何らかの社会的性格を有するか否かに関わらず、埒外（枠外）のことなのである。ところが、今回のような大震災の下では、このような常識論的コンテクストが成立し得なくなった。例えば、病院などの医療施設がその典型であろう。これは、平常時でも人々の人命や健康を預かっているという点で社会的使命と責務を有しているが、大震災のような非常時においては、緊急的優先度の最も高い公的サービスとみなされるべきものとなるのである。その際、水利用が十分に保証されない医療活動は致命的な事態に陥らざるを得ない。

以上のことを整理すると、次のような常識論的テーゼに対し、今回のような大震災に対しては、以下のようなアンティテーゼが必要になるといえる。

常識論的テーゼ 2：末端の水利用者内の水利用のマネジメントは対象外のことにして扱わない。

アンティテーゼ 2：非常の事態については末端の水利用者内の水利用のマネジメントが社会的にみてきわめて緊急性の高いものになり得るので、それについての対応を講じる必要がある。

末端水利用者の自己責任の下での自己対応を要請するアンティテーゼ 1 と、末端水使用者に対して、何らかの社会的配慮をした対応を講じることを要請するアンティテーゼ 2 は、一見すると両立し得ない矛盾律であるように思われる。しかし、このような矛盾律も、事前対応と事後対応という 2 つのフェイズを組み合わせるところに解決の鍵がある。あるいは社会的・公的対応の担い手が常に行政そのものに限定されるわけではない。今回、はしなくも実証されたボランティアやその他の NGO、NPO の組織の役割等が、その矛盾律を解く別の鍵となりうるであろう。この他に、これまでの常識論的テーゼと、そのアンティテーゼの取り合わせのいくつかを列挙すると、例えば次のようである。

常識論的テーゼ 3：末端の水利用者の水需要内訳（構成）は問わない。すなわち末端の水利用者の内訳はブラックボックスでよく、むしろその水需要の総和（lump sum）がマネジメントの主たる対象となる。これは一元的水利用システムを基本とすることを意味する。

アンティテーゼ 3：非常事態については、むしろ、末端の水需要内訳が問題となる。よって、その内訳はブラックボックスであってはならず、明示化されて初めて緊急性に応じた優先順位と、サービスモードの多様化を図ることができる。これは、多元的水利用システムを基本とすることを意味する。

上記テーゼ 3 及びアンティテーゼ 3 の言い換えは次のようである。

常識論的テーゼ 3'：水利用のマネジメントにおいては、末端の水利用者の任意の個別水利用内訳に見合う最も安全な水質の確保と、総和としての水量以上を提供すること（豊かな水量の確保）が基本となる。

アンティテーゼ 3'：非常事態については、末端の水利用者の個別水利用内訳に応じてそれに見合った最低限の水質の確保と、それに応じて必要となる最小限の水量の確保が基本となる。

常識論的テーゼ4：水利用のタイミングは限定されない。この意味において、時間は資源ではなく、時間管理は不要である。

アンティテーゼ4：緊急の水利用では限定された時間の枠の内でのタイミング、割付けや順序づけが極めて重要である。この意味において、時間は資源であり、時間管理は重要な課題である。

もちろん、以上はいくつかの代表例にしか過ぎず、すべてを尽くしている訳ではない。しかし、上記のテーゼ／アンティテーゼのリストだけで、水利用のマネジメントの常識論的コンテキストに関わるペリパティアの例示は十分であろう。

以下、次節以降では、このような水利用のマネジメントの空白領域を見出し、そこに分析・評価の橋頭堡を築くことを目的として、神戸市の被災地域におけるフィールドサーベイを行った結果について順次紹介することにする。なおここでは上述したアンティテーゼの課題を具体的に取り上げる水利用として、各医療機関における緊急医療活動を取り上げることにする。

2. 対象地域と対象医療機関ならびに被災の概観

Table. 1 に示すように、対象地域は神戸市の各区に立地する15の医療機関であり、その立地位置は Fig. 1 に対応する番号で示してある。これらの医療機関は、規模や病院の役割等において一様ではない。たとえ

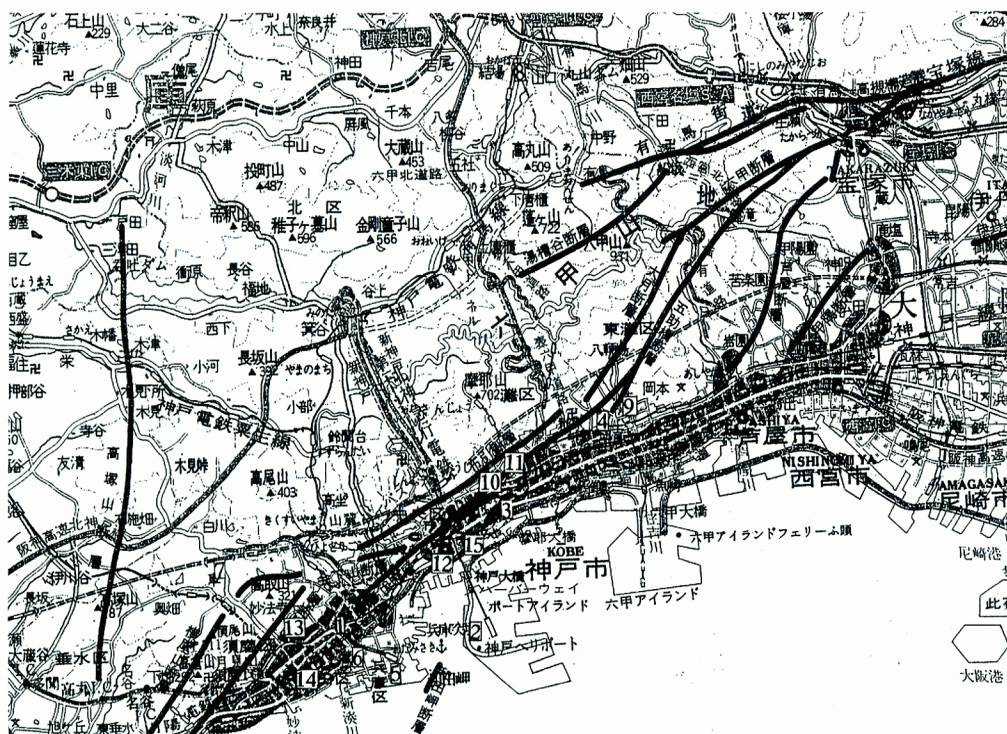


Fig. 1 Map of Study Area with Locations of Hospitals Studied

ば、神戸市立中央市民病院は、神戸市のポートアイランドに立地している。同じ系統の西市民病院と並んで、神戸市の東および西地区の緊急医療センターの役割を担っている。震災以前、病床数は前者が約1000床、後者が約380床であり、職員数は前者が約1340人、後者が約450人の大病院である。神戸市立中央市民病院はポートアイランドに立地しており、今回の震災では病院自体は比較的軽微な被害であったが、むしろ陸上部とを連絡する橋が使えなくなって孤島化してしまった。このため、神戸市の広域的緊急医療の一翼を担うというセンター的役割を果たすことができなかったという点で致命的欠陥を露呈した。他方、神戸市立西市民病院は建物が全壊するなどの大きな物理的被災により、事実上医療機関としての機能は停止した。広域緊急医療のもう一方の一翼を担うという役割は当然のことながら全く果たし得なかったことになる。

この他に **Table. 1** には、同じ緊急医療専門の病院であっても、いわば最寄りで重症者の応急的手当を行ったり、軽症者の治療にあたったりするローカルで小規模な緊急医療ステーションに類する病院が挙げられている。たとえば板宿病院、高橋病院がその類である。これらは先述した広域的・基幹的緊急医療センターのローカルな窓口にあたるとともに、必要に応じてそのような広域的・基幹的センターへ仕分け・転送するための整流器的機能を果たすことが期待されているとも言える。つまり、これらの2種の病院の間にはローカル→広域、ステーション→センターという対応関係を有する階層構造的機能分担が想定されていることになる。

今回のような未曾有の規模の複合的な大震災にあつては、このような階層構造的機能分担がほとんど機能しなかったものと判断される。ローカルのステーションによる仕分け・転送が可能であるためには、まず第一に、そのような最寄りのステーションが震災直後であっても本来の任務を果たせるだけの機能を保持していることが大前提であろう。**Table. 1** の板宿病院（番号12）は建物自体やライフラインが大きな損傷を受け、そのような大前提が成立し得なかったことを傍証する一例である。このほかに、仕分け・転送先であるセンターの病院自体が物理的にも機能的にも麻痺状態に陥った場合には、当然のことながら仕分け・転送が不可能になる。上掲の西市民病院がその典型である。さらに、もう一つのセンターである神戸市立中央市民病院（番号2）は病院自体の物理的・施設の被害は比較的軽微であったものの、ポートアイランドという人工島と後背市街地とを結ぶ交通アクセス手段が断たれたために孤島化してしまった。結果的に広域的・基幹的センターとしての機能が果たせなかったことになる。これを仕分け・転送する発地であるローカルなステーションから見れば、カバーすべきセンターにいたる「交通（アクセスという）ライフライン」が断たれたために、その所与の機能が果たせなかったことを意味する。このように「交通ライフライン」の全面的機能麻痺はあり得ないことを前提に、上述した緊急医療の階層的機能分担システムはでき上がっていると言えよう。

この他に2つ明記しておくべき盲点がある。その一つは、交通ライフラインとも密接に関係のある通信・コミュニケーション手段（としての）ライフラインが寸断され、十分に機能しなかったことである。その第二は、救命・救急活動に携わるべきスタッフの数や、救急自動車などの数が足らずに、ローカル・ステーションやセンターへ搬送するサービスが提供できなかった場合がかなりあったと思われることである。これは救命・救急（活動のマンパワーや機器などの）資源の不足という想定外の事態の出現である。直下性の大震災による複合災害は所を選ばず、ゲリラ的・分散的に、しかも波状的に発生する。このため、同じ時刻に大きく想定を超える被災者が発生し、これが救命・救急資源の秩序ある割り当て（アロケーション）を不可能にしたといえる。

以上、要するに緊急医療システムはそれを構成する種々の医療機関と、その円滑な連携性を保証する各種

Table. 1 List of Hospital Studied

番号	病 院 名	区 名
1	神戸市立西市民病院	長田区
2	神戸市立中央市民病院	中央区
3	神鋼病院	中央区
4	六甲病院	灘区
5	三菱神戸病院	兵庫区
6	鐘紡記念病院	兵庫区
7	西神戸医療センター	西区
8	済生会兵庫東病院	北区
9	甲南病院	東灘区
10	神戸労災病院	中央区
11	上田病院	中央区
12	神戸赤十字病院	中央区
13	板宿病院	長田区
14	高橋病院	長田区

のライフライン系のインフラストラクチャーがいずれも正常に機能していることを大前提に構築されている。しかしながら、今回のような複合型の大災害は、現行の緊急医療システムが極めて脆弱な構造を有していることを明らかにした。従って緊急医療システムのトータルレベルでの信頼性、安全性を高めるためには、トータルのフェイルセーフ性を今後どのように高めていくべきかについてシステム科学的検討が必要であろう。

本稿ではその一つのきっかけとして、とりあえずサブシステムとしての各医療機関ごとの緊急医療活動のボトルネックを検出し、特に水利用ライフラインのリスクマネジメントという視点から、その改善のための基礎的情報を提供することを目的とする。それは、1で列举した水利用のマネジメントの常識論的テーゼに対するアンティテーゼに答える試みでもある。同時に、それは、次のようなもう一つの常識論的テーゼに対するアンティテーゼにも配慮する挑戦でもある。

常識論的テーゼ5：水利用のマネジメントは他のライフライン系のマネジメントとは独立した、それ自体閉じたマネジメントである。

アンティテーゼ5：緊急事態においては、水利用のマネジメントは、他のライフライン系に対して開いており、連動性や相互作用性を有する。トータルマネジメントの一部に取り込まざるを得ない。

3. 震災が医療機関における水利用系ライフライン及びその他のライフラインの機能不全に波及するメカニズムに関する故障解析¹⁾

以下本節では、調査対象医療機関を取り上げて、そのレベルでの水利用系ライフラインの機能不全が発生するメカニズムに着目する。その際、そのような機能不全が電気系や通信系のライフラインの機能不全と連動し、相互作用しあう関係の中で輻輳し、増幅される可能性のメカニズムについても検討する。なお、このような複合的なライフラインの機能不全の結果、それがどのような医療活動の麻痺や機能不全に繋がりが得るのかについては、次節で検討することとする。各病院についての調査の結果、多くの場合、水利用系と電気系のライフラインの機能障害（故障）間には次の様な連関性がみられた。

- 1 断水に伴う水不足により、水冷式の自家発電機には冷却水がなくなり、オーバーヒートして、停止した。
- 2 停電により、エレベーターが停止してしまい、水の運搬には多くのマンパワーを要した。

そこで、**Fig. 2**、**Fig. 3**にはそれぞれ病院の水利用系及び電気系ライフラインにおける機能障害の波及過程と、双方のライフライン系の連関性についてFTA手法を用いて表している。なお、ここでは例として、市立中央市民病院を対象にしているが、いずれの病院についても基本的図式は同じである。

水利用系ライフラインの機能連関を表わす**Fig. 2**では、大まかに分けて右半分がハード面の機能を、左半分はソフト面の機能を示している。

FTAの解析の方法は、ある特定の故障（頂上事象、ここでは、ライフラインの途絶）に着目して、そこに最終的にいたる故障の波及過程を樹形図の形で分解し、論理的に原因側へたどっていくものである²⁾³⁾。つまり、ある故障とその原因の関係を樹形図形式に表したものである。得られたFTA図の分析の際には、基本事象（最も下位に属する事象）から上位の事象にいたる流れに注目する。つまり、下位に属する事象から、上位の事象に至るまでに、どのように影響が及んでいくのかという点に注目するのである。この解析により、対象のライフラインシステムに関して特に災害に弱い点、今後改善すべき点を解明する。

Fig. 2 Fig. 3のFTA図には、この他にいくつかの表記上の工夫が施されている。FTA図の各事象を

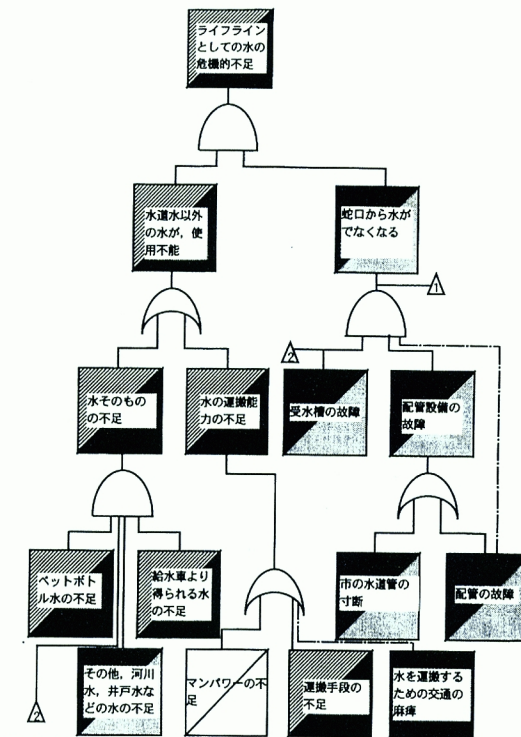


Fig. 2 Failure Mechanism of Hospital's Lifeline System As Modeled by FTA(Case of City Central Hospital)

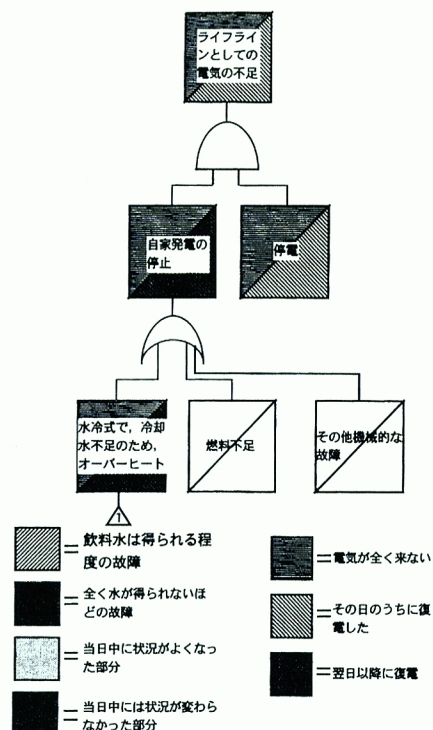


Fig. 3 Failure Mechanism of Hospital's power Lifeline System As Modeled by FTA(Case of City Central Hospital)

表わすボックス番号に斜線模様を施すことにより、実際にその病院で起こった故障の程度とその故障の時間毎の回復の度合いの違いが示してある。それぞれの事象の左上に色の濃淡で故障の程度を表わし、色が濃いものは全く水がなく、色が薄いものはかろうじて飲料水が手にはいる程度を意味している。

以下、市立中央市民病院を例にとって説明する。まず、被災直後における市立中央市民病院の水利用に関する概要は、次の様なものである。

- 1 中央市民病院では、上水道が復旧したのは、2月9日で、受水槽の完全復旧は2月19日であった。
- 2 地震直後、受水槽に残っているはずの水は、破損のため漏水し、有効利用できなかった。
- 3 水道水以外の水に関して、この病院には、給水車が地震発生当日に来た。しかし、当初は、ポリタンクなどの備蓄容器がないため、ポリ容器にビニール袋を敷き、そこに給水車からの水を溜めていた。
- 4 この病院は、11階建ての建物であり、かつ停電のため、エレベーターが動かなかったこともあり、水の運搬に多くのマンパワーを要した。

以上のような結果をもとに、最終的に、「ライフラインとしての水の危機的不足」にまで機能不全が波及したことがFig. 2にFTA図としてモデル化されているわけである。その故障の程度は、全く水が得られないほどではないものの、飲料用を除いてほとんど機能しなかったことがわかる。また、このように頂上事象にまでライフラインの故障が及んだのは、Fig. 2における左側系路と右側系路の故障が同時に生起してしまったためであったことも明らかになる。Fig. 3に示した市立中央市民病院の電気系ライフラインのFTA図には地震発生後に停電した後、自家発電装置がいったん作動したものの、自家発電装置の冷却水不足のために、わずか20分で停止し、その後、午前中のうちには電気が復電したことなどが、暗に示されている。

以上と同様の調査を計15の病院についても行い、FTA分析を行った。結果を以下にまとめる。

- 1 どの病院においても当日中に給水車による給水を得ている。そのため、当面の飲料水に問題はなかったものの、再備蓄用の容器などの確保に支障があった。
- 2 断水の際も、受水槽と配管に破損がなければ、受水槽に蓄えられた水により約半日間は蛇口を通じた給水が可能である。今回こうした状況にある病院ではこのようにして水利用の問題は概ね解決できた。
- 3 電気系ライフラインが麻痺したかどうか、すなわち停電直後における自家発電機の作動の如何は、その自家発電機が水冷式であったか空冷式であったかによるところが大きい。すなわち、水冷式である場合に限って水系ライフラインに支障が生じ得るときは、それが連動して自家発電機の機能停止、ひいては停電に対するバックアップができなくなるなどの事態が生じたのである。また、自家発電のための燃料不足により、自家発電が機能しないこともあり得た。ほとんどの病院で当日中に復電していることから、自家発電機の燃料の備蓄は1日分が妥当であろう。

さらに、上記の15の病院について、それぞれのFTA図を構成する各事象に対して、当日、2日目、3日目のそれぞれの時間毎にその事象の機能が故障していれば1、故障していなければ0という数字をコマで区切って与える。ただしこの場合は、水の量がやっと飲料水が手に入る程度からを故障とみなしている。市立中央市民病院の例がFig. 4に示されている。この図には、それぞれの事象の右下に0あるいは1が記してある。例えば、1, 1, 0と記してあれば、その事象は3日目になって機能が回復したことを示している。ただし、蛇口から水が出るなど被害が軽いため、ペットボトル水は入手可能であった。従って、実際はペットボトル水を手に入らなかった場合でも、その事象が不必要なために、実際に機能していなくても表記は0としてある。これは、不必要なために機能していなくても済むだけで、それに伴う医療活動への影響はないためである。

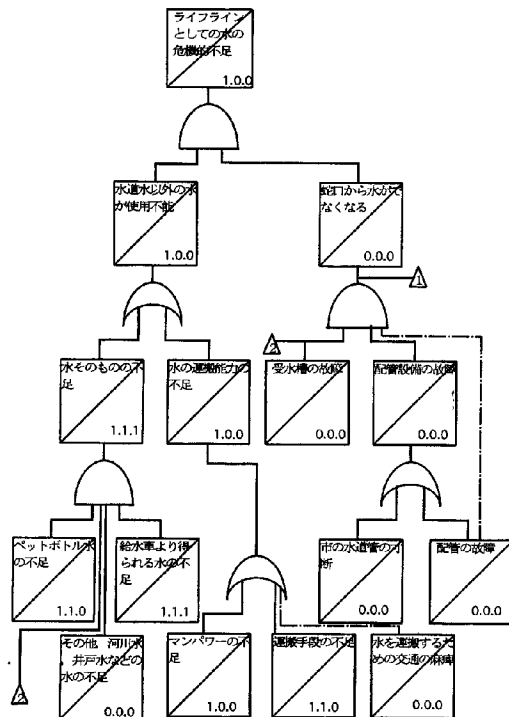


Fig. 4 FTA Diagram Extended to Indicate Process of Recovery- (for Nishinomiya Public Hospital)

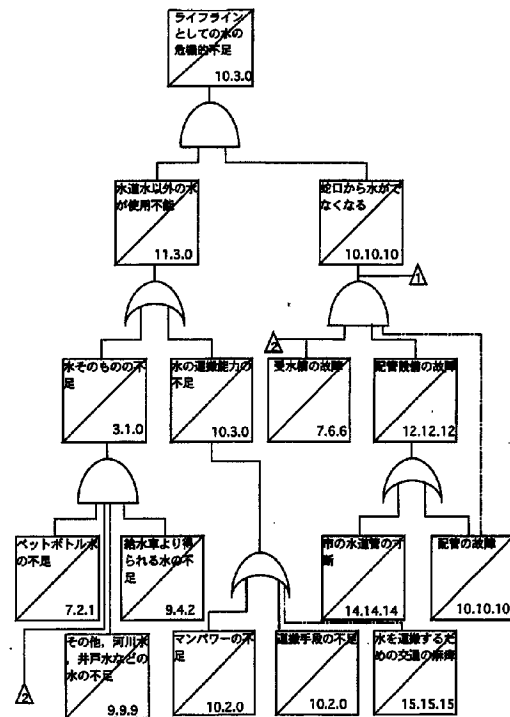


Fig. 5 FTA Diagram Extended to Indicate Process of Recovery- (for 15 Hospitals as A Whole)

15の病院全てに対して以上のようにして0, 1の数字を記した。その結果をもとに、事象毎、時間毎にその数字を並べた結果をFig. 5に示す。この図により、その事象について時間毎の問題点が抽出される。その結果を以下に示す。

- 1 ハード面とソフト面を比べると、その回復状況は明らかにソフト面の方が早い。つまり、災害時において、短期間でハードの回復は望めないため、短期間という状況においては、早期のソフト面の回復が重要となる。
- 2 〈水そのものの不足〉という事象と〈水の運搬能力〉という事象に注目すると、〈水道以外の水が使用不能〉という事象の被害の主要因となっているのは、〈水の運搬能力〉であることが分かる。つまり、災害時において、早期の水の運搬能力の確保が、被害の縮小に有効である。
- 3 〈水そのものの不足〉という事象に入力されるANDゲートには4つの事象が入力されており、それらの事象の回復程度において、3日目まで水の量が不足していたというようなことはあまりない。それゆえ、いずれの病院においても3日目までには何らかの形で水は入手し得たといえる。
- 4 〈蛇口から水が出なくなる〉という事象の回復程度と〈配管の故障〉という事象の回復程度の数値は一致している。つまり、〈蛇口から水が出なくなる〉という事象に影響を与えているのは、病院施設内

の配管であると言える。

4. 水及びその他のライフラインの機能不全が医療活動に及ぼす影響分析

前節では水を中心としたライフラインシステムの故障の発生メカニズムについて分析を行った。本節では、このような故障が医療活動に与える影響を分析する。兵庫県環境医療部の資料⁴⁾から、医療活動に影響が及んだ点として主だって現れている事項を抽出し、さらに、調査対象の15の病院に対し、「水がなくて困ったこととして何が挙げられるか」という質問をした回答結果をまとめた。その結果をTable. 2に示す。この表の各列に記した1から15までの数字はそれぞれの病院をコード化したものであり、表に示した○はその病院において、その事項に「影響が出なかった」、もしくは「それほどの影響ではなかった」ことを表す。×は影響が出てそれが全く機能しなかったことを表し、△はどちらとも言えないことを表している。

ただし、この表では、実際に水系ライフラインの機能不全如何に関わらず、医療活動に影響が及んだか否かをあくまで問題にしており、特に、機械関係の故障に関しては、地震の際の揺れのために壊れてしまった、というものも含まれる可能性がある。このため、一概に水の不足のみに起因しているわけではない。また、食事という項目について、支援物資として提供されたおにぎりやパンといった水のいらない食べ物を食べていた場合は、「影響なし」としている。

人工透析については、どれほどの水が必要かを病院の関係者からヒアリングして調べた。その結果、人工透析は、普通週3回、4, 5時間行い、4時間なら約120リットルの水を必要とすることが分かった。ちなみに、兵庫県内の透析患者は約6000人にのぼるが、18日の時点において、透析医療機関45施設のうち21施設が透析不能となり、震災後、約840人の患者が阪神間以外で緊急に透析を行うことを強いられたとみなされる。

このTable. 2と、Fig. 2のFTAの図を用いて、水を主としたライフラインの様々な故障が、医療活動

Table. 2 Consequence v.s. Uses of Water for Medical Activities

		病 院																	
		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
おもに水 が原因の もの	飲料	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	少なくとも良い	全て上水	
	食事	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	少なくとも良い	全て上水	支援物資含む
	手洗い	×	×	○	○	○	△	○	○	○	×	○	○	○	△	△	少なくとも良い	少しの汚れは可	ウエットティッシュ
	トイレ	×	×	×	×	×	×	○	○	○	×	×	×	×	×	×	大量に必要	汚れていても可	
	風呂	×	×	×	×	×	×	△	×	×	×	×	×	×	×	×	大量に必要	全て上水	
	人工透析	×	×	×	×	×	×	○	○	○	×	×	×	×	×	×	大量に必要	全て上水	
	手術用(洗浄)	×	×	×	×	×	×	○	○	○	×	×	×	×	×	×	少なくとも良い	少しの汚れは可	使用用途により異なる
おもに電 気が原因 のもの	空調、加湿など	×	×	×	×	×	○	○	○	○	×	×	×	×	○	○	必要	少しの汚れは可	水、電気がともに必要
	検査機器	×	×	×	×	×	○	○	○	○	×	×	×	×	○	○	必要		
	医療機器	×	×	×	×	×	○	○	○	○	×	×	×	×	○	○			

(表中の○は影響なし、×は影響有り、△はどちらとも言えない)

Table. 3 Use of water Categorized

	量	必要な水	内容	備考
カテゴリー1	少	良	食料, 飲料水	優先順位が高い
カテゴリー2	多	良	透析, 風呂	
カテゴリー3	少	良, 中	手洗い	優先順位は低い
カテゴリー4	少	良, 中	手術用(洗浄)	
カテゴリー5	多	良, 中, 悪	トイレ用	
カテゴリー6	多	良, 中	検査機器, 医療機器, 空調, 加湿	電気が必要

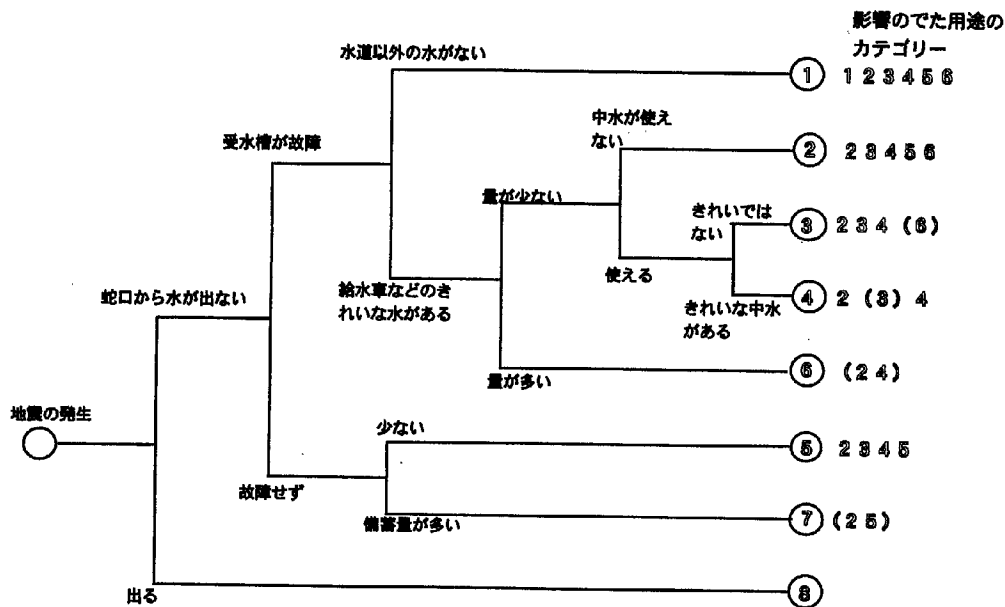


Fig. 6 Basic ETA Model of Consequences of Earthquake upon Medical Activities

Table. 4 List of Consequence v.s. Levels and Their Implications

レベル	影響の出たカテゴリ	内 容
1	123456	全く水がなく、すべての医療活動に影響がある
2	23456	飲料水に困らない程度しか水がかない
3	234 (6)	きれいではないものの、量には困らない程度の中水があり、トイレを流すための水などはある。手洗いなどの生活用水に影響が出る。
4	2 (3) 4	きれいな中水があり、風呂や透析には使えないものの生活用水や、機械用の水としては使える。
5	2345	レベル3やレベル4よりも影響の出たカテゴリが多いようだが、きれいな水が手近にあるという意味でその水は利用しやすいといえる。
6	(24)	水の量と言う意味では困らないが、その運搬能力や果たして手術用に使えるほどきれいなのかということで、影響が出ることもある。
7	(25)	水道水という質のよい水が大量にあるため、ほとんど困ることはないと思われるが、やはり備蓄量にも限界があるので、トイレ用水など優先順位の低いようとは削られる。
8		蛇口から水が出るのでほとんど影なし。

に及ぶ影響伝播のプロセスをETA (event tree analysis) 図によりモデル化した。このETA図はFTAと同じように信頼性設計、安全性解析、工程設計などで利用されている手法^{1,2)}であるが、FTAと違う点は、順方向、つまり原因から結果へというボトムアップ的解析アプローチをとる点にある。すなわちこの手法は、まず故障原因となっている事象からスタートし、時間軸上でどのように事象が波及し、望ましくない種々の結果に到達するかを追跡するのに有用である。

水利用系機能をその質及び量の観点から便宜上5つのカテゴリに分類し、さらに電気系機能のカテゴリを加えた6つのカテゴリを設定する。このカテゴリをもとに、被災時に出た影響を評価し、ETA図を用いてFig. 6にまとめる。Table. 3にそれぞれのカテゴリの内容を示す。また影響のレベルに関する内容をTable. 4にまとめる。()をつけたカテゴリは、優先順位が低いとされたものを表している。

すなわち、実際は使えたにも関わらず、大量の水を使用するために備蓄用に回したといった、水以外の要因で、既にその項目が選択的に機能しないで済まされたことを表している。このETA図のtreeの末端の部分の円の中の数字は影響のレベルを表し、数字が大きいほど被害が大きかったことを示す。

ETA図では、地震が発生した後、蛇口から水が出るかどうか、という判断がなされた結果、受水槽が故障しているかどうかという判断が次に必要となることが示されている。ここまでの判断は、ハードウェアの故障により医療活動に及ぼされる影響分析に関する部分である。いずれのハードウェアの機能も故障した場合は、以降ソフトウェアの故障による医療活動への影響分析に関する部分となる。すなわち、ETA図において、レベル1,2,3がハードウェアの故障に関するレベルであり、それ以外がソフトウェアに関するレベルであることがわかる。

具体例として、中央市民病院（病院2）を対象にETAによる分析を行い、その結果をFig. 7に示す。図中の○の中の数値はTable 4でいうレベルを表している。この図より、病院2では地震の発生した当日の午前には、全く水が手に入らず、飲料水さえままならない状況にあったといえる。その後、最初の給水車が来て、飲料水は確保できるようになり、3日目に至るまでには救援物資、給水車及びその受け入れ体制は充

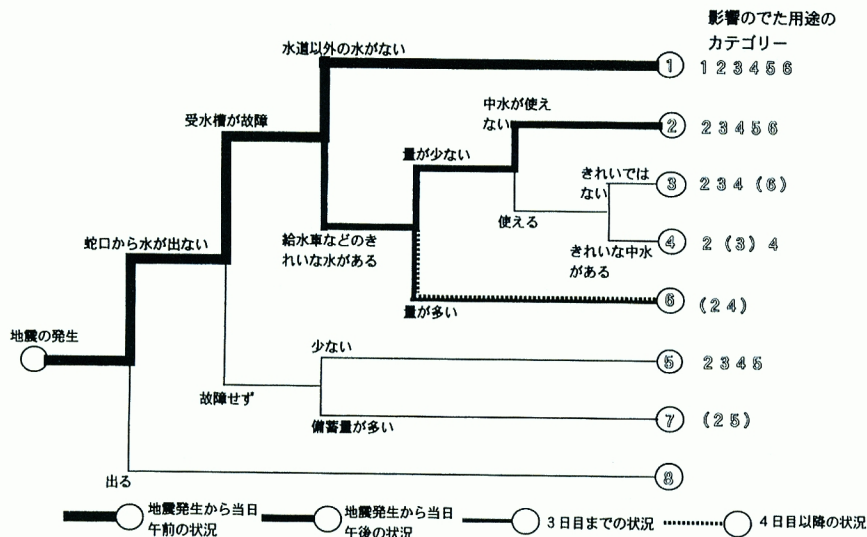


Fig. 7 ETA Analysis (Case of City Central Hospital)

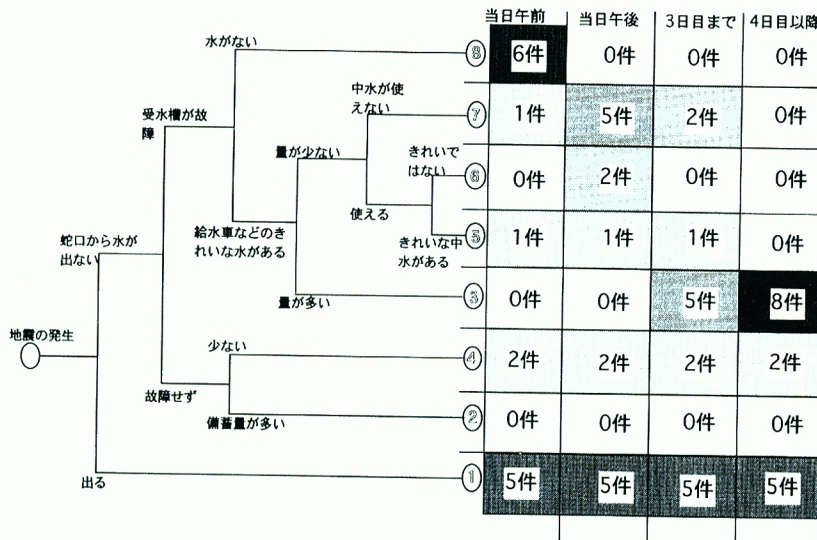


Fig. 8 ETA Model with Process of Recovery (for 15 Hospitals)

実してきたことが分かる。

以上の ETA の分析手法を用いて、調査対象の 15 の病院に関して分析した。

15 の病院のうち当日の午前、当日の午後、2 日目、3 日目のそれぞれの時間において各影響レベルの状態にあった病院数を Fig. 8 に示す。これにより以下のことが明らかになった。

- 1 レベル 1, 4 に属する病院の数は 3 日間変化していない。その理由として、病院がレベル 1, 4 に属する主要因はハードウェアの故障が比較的軽微に止まっている点であり、これにより、ハードウェアの復旧は 3 日という短期間ではなされ得ないことが窺える。
- 2 レベル 8 に属する病院の数は、1 日目の午前中は 6 となっているが、それ以降は 0 となっている。それゆえに、すべての病院において、地震発生直後、飲料水の確保に対する意識が高く、飲料水程度の量に関しては、早期に確保できたことが窺われる。
- 3 ソフト面によりレベル分けされるレベル 3, 5, 6, 7, 8 の機能不全は、時間の経過とともに、全体としてレベル 3 の機能不全にまで回復していった。

5. CCC 分析による統合化

上述した FTA 分析と、ETA 分析を統合化する形で、地震発生後、各々の故障が水利用系ライフラインの機能間の連関における医療活動への影響へ波及する過程をモデル化してみよう。Fig. 9 にその結果を示す（市立中央市民病院に基づいて例示している）。これは、原因—関連図（CCC, cause-consequence chart）により病院における水利用系ライフラインシステムを表わしたものである。この CCC 図とは、前述の FTA と ETA を組み合わせたものである。この図では、分析の際、原因側（図の上の方）から結果側（図の下の方）へ進む。YES や NO が示されている枝分かれ部分においては、そのすぐ上の事象が発生しているか（望ましい状態であるか）、発生していないか（望ましくない状態であるか）によって決定し、故障が発生していれば NO、故障が発生していなければ YES の方向に進む。ただし、〈量が充分か〉及び〈中水があるか〉という事象に関しては、量だけではなく、運搬能力についても考慮し、水が大量にあってもそれを運ぶ能力がなければ NO として示す。

以上の方法により分析を進めるが、最後にたどり着く結果には、1 から 8 までの数字が並んでいる。この数字は、前節で設けた医療活動の影響レベルを指す。この図における原因—結果の経路を分析することにより、その水利用システムにおける問題点や改善すべき点を見出す。つまり CCC 手法を用いた分析は最も根本的なライフラインの故障から、最終的な影響に至るまでの経路分析を一度に行ったものといえる。こうした影響分析を 15 の病院に対して、被災後の 3 日間の状況に関して行った。その結果、次の様なことが明らかになった。

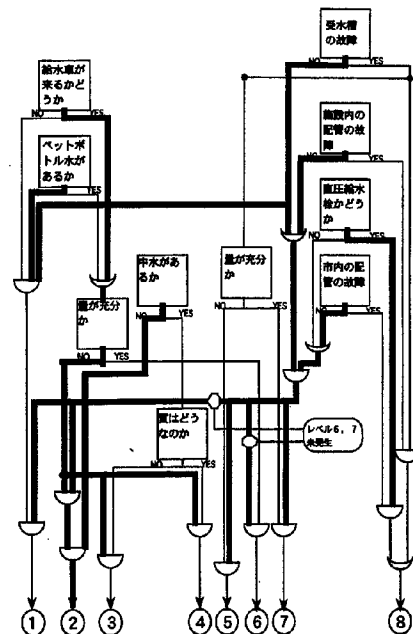


Fig. 9 CCC Analysis(Case of City Central Hospital)

- 1 地震発生後、病院としての機能を果たすためには、少なくとも当日中に影響レベルが2に、3日目までにはレベル5に達している必要がある。
- 2 病院には、他のどの機関よりも早く（ほとんど当日中に）給水車などの救援物資が届けられていたため、レベル1から2に至るまでの段階は早く、飲料水に困る状況に陥ることはなかったが、その次の段階、すなわち特にトイレをはじめとする雑用水レベルの確保が困難であった。その理由としては、ほとんどの病院で中水を使用する体制が整っていなかったこと、運搬能力も含めて水道設備以外に多量の水を受け入れる設備がなかったことなどが挙げられる。

6. むすび

以上、本研究では、今回の大震災によって未曾有の被害を被った⁶⁾。阪神地域を対象に、緊急時の水利用系ライフラインのリスクマネジメントの課題について、いくつかの基礎的な分析を行った。その際旧来の水利用のマネジメントの常識論的なテーゼに対立する新たなテーゼに基づいた分析・評価が不可欠であることに着目した。具体的な事例としては、医療機関の水利用マネジメントをとりあげた。

本研究では、対象とした15の医療機関における水利用系ライフラインのリスクマネジメント上のボトルネックをFTA分析、ETA分析、CCC分析技法を並用して、総合的に解析することを試みた。今後は、これらの分析技法を用いて、リスクマネジメント上のボトルネックを解消するための改善策についても検討を行うことが可能である。また、調査対象の医療機関をさらに増やして、本研究で得られたアプローチの適用可能性についてさらに検討を加えることも必要であろう。以上今後の課題としたい。

なお、本研究を実行するにあたっては、関係医療機関ならびに行政機関の多大なる御協力を賜った。また研究の遂行にあたっては、関西エネルギーリサイクル科学研究振興財団の研究助成に依るところが大きい、付して、謝辞としたい。

参考文献

- 1) 北畑貴史（1996）：都市直下型地震の直後における水利用行動のリスクマネジメントに関する基礎的考察，京都大学工学部卒業論文。
- 2) 塩見弘（1983）：故障解析と診断。
- 3) 塩見弘，島岡淳，石山敬幸（1977）：FMEA，FTAの活用，日科技連。
- 4) 兵庫県環境医療部（1995）：災害医療についての実態調査，日科技連。
- 5) 阪神・淡路大震災兵庫県災害対策本部（1995）：阪神・淡路大震災一ヶ月の記録。
- 6) 例えば，
中谷和男（1995）：医師たちの阪神大震災，TBS，ブリタニカ。
金賛汀（1995）：ある病院と震災の記録，三五館。
時事通信社編集局（1995）：大震災を生き抜く―「阪神」が教える危機管理，時事通信社。
毎日新聞社（1995）：阪神大震災・毎日新聞は何を伝えたか，特別縮刷版。
鈴木健司（1994）：社会的イメージとその基礎的情報の処理システムに関する研究 ―昭和57年長崎大水害をを事例として―，京都大学工学部卒業論文。