

阪神・淡路大震災における静脈系ライフラインの被災および復旧

鳥取大学工学部 細井由彦*
阿南工業高等専門学校 上月康則**
鳥取大学工学部 野田 茂***
広島工業大学工学部 能島暢呂****

電気、ガス、水道などの供給系のライフラインの重要性はいうまでもないが、都市はこれらの供給と、使用後の排除によってうまく代謝が行われており、供給系のライフラインが働くためにも、排除を受け持ついわば静脈系のライフラインが正常に機能することが必要である。本論文では、阪神・淡路大震災において、静脈系のライフラインである下水道及び廃棄物処理システムが受けた被害と、その機能低下の影響及び復旧の過程の問題を検討した。とくにこれらは動脈系である供給系ライフラインと一体であるとの見地から、下水道については上水道との関係を、廃棄物については都市内への蓄積の影響に着目した。

1. はじめに

兵庫県南部地震は、わが国における都市機能が高度に発達した地域において発生した、はじめての直下型地震であり、現代社会システムの種々の問題点をうきぼりにした。ライフラインの重要性はこれまでさかんに指摘されてきたが、エネルギーや物質の供給系に主たるウエイトが置かれる傾向にあったように思われる。都市の代謝は供給系のみではなく、排除系を受け持つ、静脈系とも呼びうるシステムが存在して、正常に機能する。とくに阪神・淡路大震災のような、復旧が長期にわたる場合には、都市内における滞留能力は限界を超えており、排除系が機能して循環を行わせる重要性があらためて認識された。ここでは静脈系システムの被害と機能低下が及ぼした影響について取り上げ、災害時に静脈系ライフラインに求められる機能を検討する。

2. 排除系システムの被災

(1) 下水道の被災

下水道施設が被災した地方公共団体は14にのぼる。被災地区には43の処理場があるが、そのうち被害が大きく、処理の上で支障が出たところは、表-1に示す8処理場である。

最も被害が甚大であったのは神戸市の東灘処理場である。これは埋め立て地に建設されていたが、地盤の液状化と側方流動のために、護岸が最大2.5mの横ずれを生じ、1m前後(最大2m)の沈下がいたるところに発生した。そのため護岸沿いに位置するポンプ場から最初沈殿池への汚水送水管が継ぎ手部で破断したほか、場内の配管に多数の被害が発生した。また管理棟、発電機棟、脱水機棟、濃縮タンク、ガスタンク、砂ろ過施設の基礎杭が破壊し、施設が傾斜した¹⁾。

神戸市の下水汚泥を集めて処理を行っている東部スラッジセンターでは、東灘処理場の砂ろ過水を冷却水として使用していたために、同処理場の機能停止のために運転ができなくなった。

神戸市における下水管渠の被害状況を表-2に示す。神戸市(処理面積16400ha、汚水管延長3300km、雨水管延長490km)は、地震翌日の1月18日から22日までの5日間に、ほぼ全域を対象とする地表面、マンホール内及び管内の目視による一次調査を行った。その後テレビカメラ等を使用した汚水管内の二次調査や、雨水幹線に対する全スパンを目視による二次調査が行われた。

(2) 廃棄物処理施設の被災

廃棄物処理施設は兵庫県において7市6町3一部事務組合において23カ所、大阪府など3府県の2市町2一部事務組合において10カ所のごみ処理施設に被害が発生した。焼却機能に大きな影響がでたものを表-3に示す。焼却炉そのものの被害よりも、冷却水の供給不能や、排煙処理機能の低下が、焼却機能の低下につながった事例が多い。

キーワード : ライフライン, 下水道, 廃棄物処理システム

* 鳥取大学工学部 0857-31-5317

** 阿南工業高等専門学校 0884-23-7194

*** 鳥取大学工学部 0857-31-5307

**** 広島工業大学工学部 0829-21-3121

表-1 処理に支障が出た処理場

事業体 施設	規模 (処理水量・人口)	被害内容	対応
神戸市 東灘処理場	225000m ³ /d 346000人	最初沈殿池への流入水路破損 場内配管類多数破断 水処理施設の傾斜や漏水 脱水機棟、管理棟傾斜	当初未処理で放流。その後塩素滅菌を行うようになり、2月6日より仮設沈殿池による簡易処理。5月1日より高級処理再開。
中部処理場	77900m ³ /d 128000人	地下管廊大量漏水、設備の水没 水処理施設の漏水 場内舗装破損多数	処理機能1/2に低下。1月24日仮復旧。
西部処理場	161500m ³ /d 264000人	エアレーションタンク漏水、周辺設備破損 機械設備水没 場内舗装破損多数	処理機能1/5に低下。1月24日仮復旧
東部スラッジセンター		東灘処理場からの下水処理水（冷却用）の供給停止のため冷却水が なく停止	海水使用で2月14日より半分の機能で再開。6月より東灘処理場からの本格供給再開
芦屋市 芦屋下水処理場	51175m ³ /d 84000人	最初沈殿池への汚水圧送管（φ900CIP）2本とも破断 雨水吐口破損	圧送管取り替えて1月30日より運転再開
西宮市 枝川浄化センター	126000m ³ /d 174000人	放流管の破損 消化タンク損傷	1月22日に仮復旧
尼崎市 東部第一 浄化センター	79000m ³ /d 50000人	汚泥かき寄せ機損傷	簡易処理を行い2月2日に高級処理を再開
東部第二 浄化センター	82400m ³ /d 52000人	最終沈殿池への送水管破損	簡易処理を行い1月25日に高級処理を再開
兵庫県 武庫川上流 浄化センター	7100m ³ /d 124000人	汚泥かき寄せ機損傷	1月21日仮復旧

3. ライフラインとしての静脈系システム

(1) 都市とライフライン

都市とライフラインの関係を図示すると、図-1のように描くことも可能である。すなわち、都市に対しては電力やガスのようなエネルギー、水、物資が供給され、それを利用して様々な都市活動が行われて、その結果として、廃熱や下水、廃棄物が排出される。これらの循環を円滑に行うために情報の伝達、発受信が行われている。

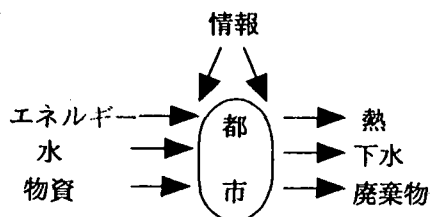


図-1 都市とライフライン

これらのライフラインの特徴を整理したものが表-4である。電力やガスは流入、流出系統が同一あるいは流入のみであり、供給系統の復旧が、それを媒体とする都市の循環の再開を意味する。しかし、水および物資に関しては、都市に対する供給と排除が異なったシステムによって行われており、それぞ

れのシステムの運営にたずさわっている事業主体も異なっている。したがって応急対応や復旧も別々に行われるのが普通である。そのために供給系と排除系の復旧の速度が異なり、循環が正常に行われず都市内に滞留する事態も発生する。

表-4 ライフラインの構成

	流入	流出	媒質	媒体
情報	電話線		電気信号	ケーブル
電気	電線		電流	ケーブル
ガス	ガス管		気体	パイプ
水	水道	下水道	水	パイプ
物資	運輸	ごみ処理システム	固体	道路、車

(2) 静脈系ライフラインの特徴

供給と排除が異なったシステムで行われていても、都市は水や物資のフローによって成り立っているのだから、両者を併せた一つのシステムがうまく働かなければ、円滑な都市活動は行われぬ。したがって供給系と同様に排除系も重要なライフラインと考えることができる。

表一 2 神戸市の下水管の被害

種類	調査内容	被害状況
汚水幹線	調査延長32幹線(83900m)	被災延長27幹線(4500m)
汚水枝線	調査対象延長1179600m	被災延長見込み48453m 応急復旧処置8980カ所
雨水幹線	調査対象898幹枝線 (377600m)	マンホール損傷1132カ所 幹線損傷6309m, 1013カ所

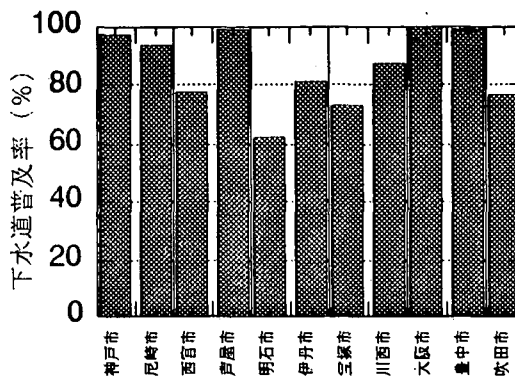
表一 3 焼却機能が低下した廃棄物施設

設置者	被害内容	運転状況
兵庫県		
神戸市	(港島) 断水, 橋不通のため収集不可, スロープに段差	2月11日再開
	(刈藻島) 断水, 橋不通のため収集不可	2月6日再開
	(東) 地下浸水	2月20日再開
	(西) 断水のため焼却不能, クレーン故障	1月24日再開
	(落合) 断水のため焼却不能, 1炉蒸気漏れ	1月23日再開
尼崎市	被害, 断水	1月19日より再開, 21日よりフル運転
西宮市	(東部) 断水のため焼却不能	
芦屋市	断水のため焼却不能, 収集不能	施設改良して1月20日再開
明石市	クレーン, 電気集塵機故障	2月5日より3炉中1炉運転
大阪府		
豊中市・伊丹市	1, 2号炉煙突破壊, 苛性ソーダ原液及び調整タンク破損,	3号炉を使い1月23日より
クリーンランド	洗煙排水冷却装置破損, 排水処理設備破損, 燃料系統, LP	再開
	ガス配管破損	

静脈系の特徴の一つは、その必要性が供給系である動脈系ライフラインの被災、復旧状況に依存する部分が多いことである。したがって需要の発生を事業者がコントロールする事ができない。被災や復旧の程度に関係なく、供給系の復旧に応じて需要が発生する。

また静脈系ライフラインの被災による排除の停滞は、都市の空間を占拠するだけではなく、衛生問題に発展し二次的な問題を引き起こしかねない。腐敗や伝染病の発生は、気温や湿度に関係する。また雨水排除系のトラブルの発生も降水量に関係する。したがって静脈系の被災の影響は季節にも大きく依存する。

水や物質の循環系が電力やガスのようなエネルギー系と異なるもう一つの点は、電気やガスを利用する近代の文明生活を始める以前からすでに、大きな自然の中の生態系の一部を構成して存在していたことである。したがってこの循環の中で、とくに静脈系の部分は、規模が小さいうちは、それほど意識をしなくても、自然の処理能力にある程度まかせることが可能であった。図一2は被災各都市の下水道普及率を示している。またわが国では、家庭や事業所から出されるごみの97%が市町村により処理されており、その中の75%が焼却されている。このように現代の都市は、排除系の大部分を人工的なシステムに負っている。したがってそれらのシステムの



図一 2 被災した各都市の下水道普及率

被災の影響は、近代的な都市の方がむしろ深刻である。

4. 静脈系ライフラインの機能低下の影響

(1) 都市の水循環

3において述べたように、都市の水循環の観点から、下水道は上水道と密接に関連している。したがって下水道に要求される機能は、上水道の状態と関係しており、両者の復旧速度は都市機能に大きな影響を及ぼす。

図一3は神戸市のポートアイランド処理場と西部処理場の汚水量の変化である。ポートアイランドでは橋梁添架していた送水管が破損したため、地震直後から完全断水していた。病院等の一部には2月初旬に通水したものの、2月中旬までほとんどが断水の状態で

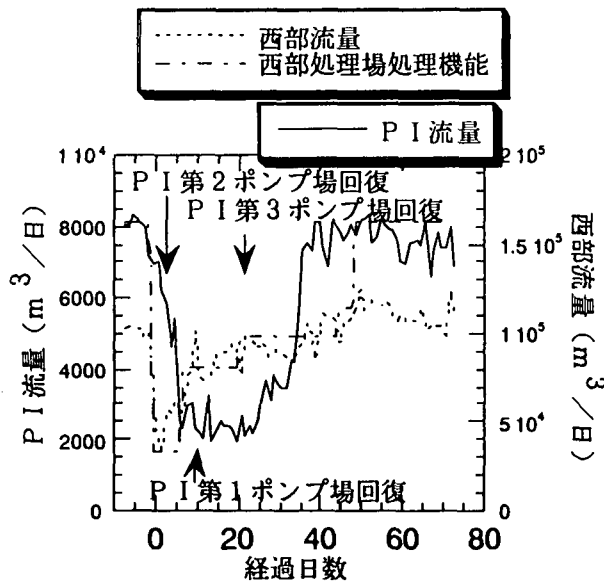


図-3 下水流量の変化

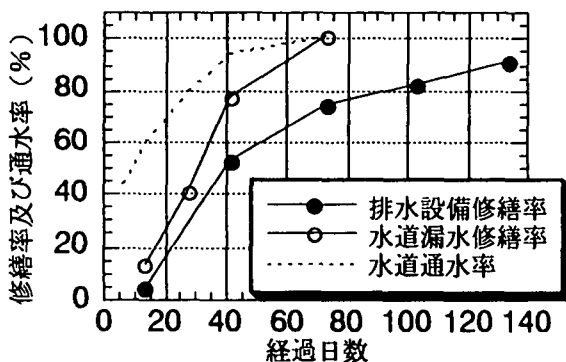


図-4 上下水道の修繕率

あった。下水量は5日目にはほぼ最低になり、その状態が2月中旬まで継続している。ポートアイランドは高層建築物が多く、受水槽が多くあったのと、プール等の貯水で水洗トイレを維持したことが、5日間程度は下水量の低下がゆるやかであった理由と考えられる。ポートアイランド内の3つのポンプ場が被災して機能を停止した。しかしいずれも水道が復旧する前に機能を回復したため、その被災の影響はなかった。

西部処理場においても、図-3に見られるように、処理場の機能回復が汚水量の回復を上回っており、機能低下の影響が下水処理に及ぶことはなかった。

図-4は排水管やトイレのつまり等、排水設備の修繕件数を、5月末の修繕受け付け件数(14464件)でわった修繕率である。上水道の道路上及び宅地内の修繕数も、通水率がほぼ100%になった3月末の値(64613件)でわって修繕率として示した。

下水道工事の公認業者は上水道工事も扱っており、下水道の修繕がどうしても上水道を下回る結果になっている。そのため水道が復旧してもトイレが使えない等の問題が発生した。理想的には両者の修繕率が同地域で同じ程度に進むことが、正常な水循環を回復していく上では望ましいと考えられる。

図-5は宝塚市における汚水量と水道配水量等の経日変化を示したものである。地震後は生活用水等の使用が減り、汚水量が減少している。一方水道配水量は地震前よりも増加している。これは配水管の破損による漏水が発生していることを示している。この水は汚水管には流入せず、雨水管を通して排除されたものと考えられる。宝塚市の雨水管は大部分が従前からの水路等を利用した開水路で、護岸の崩壊等も発生したが、ほぼ流下能力を維持できていた。

断水率の低下にとともに、汚水量が増加するとともに配水量が減少している。断水の解消後は、ガス供給率の増加が汚水量の増加に寄与している。これは給湯器、ガス風呂等の使用によるものと考えられる。このように、汚水の発生は上水道の復旧だけではなく、ガスの供給状況にも関係している。

図-6は宝塚市の污水幹線別の時間汚水量の変化を示したものである。地震前は午前9時と午後10時頃にピークをもつ、典型的な水道使用パターンに対応した変化を示している。

宝塚污水幹線区域では地震直後から区域内のほとんどで断水しガスも完全に停止した。17日には昼間や汚水の増加が見られるが、18日には全く通常の水使用パターンの影響は見られない。17日には受水槽など蓄えられた水の使用が可能であったが、1日後にはそれも不可能であったことがうかがえる。この地区の断水は徐々に解消され、26日には完全に通水した。これにとともに24日さらには31日には午前中のピークが顕著になっていく。

ガスは24日には停止したままで、31日までに5000戸で供給が再開された。24日には夜間の汚水量がそれほど増えないのに対し、31日には夜間汚水量も増加し、ピークがやや見え始めているのは、ガスの供給による風呂の使用再開によるものと考えられる。

中山安倉幹線地区では水道は地震当日もほとんど通水しており、ガスの停止も地区内の一部であった。したがって地震後も大きな汚水量の減少は見られない。地震当日や翌日には、通常時よりも午後と早朝の汚水量が増え、ピークが低く、最小値が大きいパターンを示すのは、非日常的生活を余儀なくされたためと推測される。

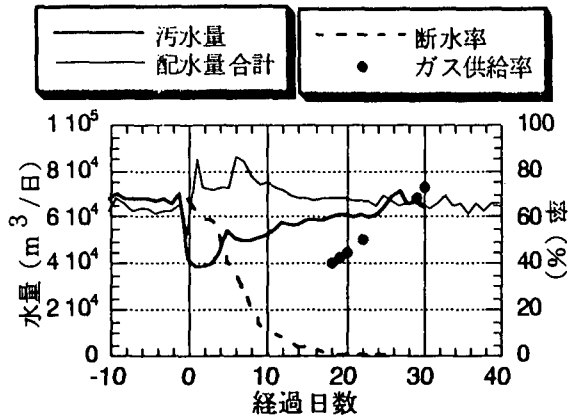


図-5 上下水量の関係 (宝塚市)

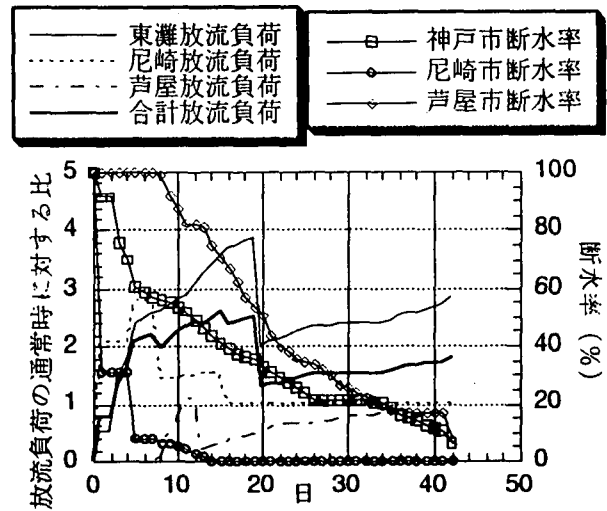
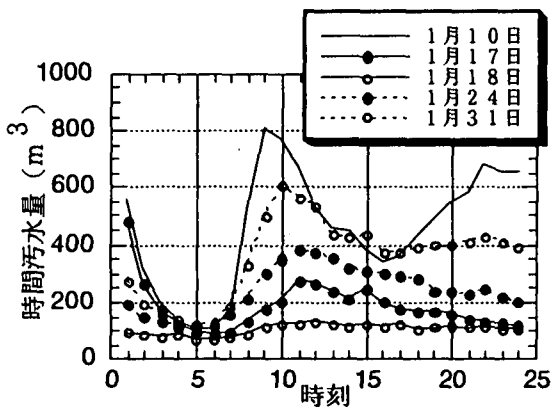
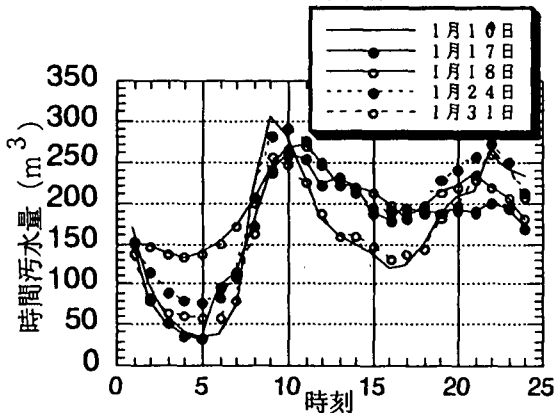


図-7 被災した処理場からの放流汚濁負荷試算結果



宝塚幹線



中山安倉幹線

図-6 時間汚水量の変化 (宝塚市)

(2) 下水処理場被害による影響

神戸、芦屋、尼崎の下水処理場における機能低下が放流水にどのような影響を及ぼしたかを試算した。降雨はほとんどなかったため、処理場に流入する汚水量を断水率から計算した。放流水質については、殺菌のみ、簡易処理を行った場合について、下水放流水の技術上の基準をもとに、通常の高級処理のそれぞれ6倍、3倍であると仮定して計算した。その結果を図-7に示す。

東灘処理場においては、断水率が低下するに従い、放流汚濁負荷が通常の4倍に近づいていたが、運河を使った仮設沈殿池による処理を始めたことにより、2倍程度にまで低下させることができた。芦屋処理場では当初全く処理が行えない状況であったが、1月30日までに仮復旧を終えたので、放流負荷量は通常を越えることはなかった。水道復旧とのかねあいがうまくいった例といえよう。

(3) ごみの収集と焼却能力の低下の影響

震災直後は職員の出勤率が低かったこと、人命救助や、救援物資の整理など他部局への応援にかり出されたことのために、各市でごみの収集が始まったのは2日後以降である。神戸市や阪神間では交通状態が悪く、1月末頃まで通常の50%程度しか収集できなかった²⁾。したがって市内にはごみが放置されたままという状態が続いた。また焼却施設の再開が遅れ、焼却能力が低下した。

ごみの収集システムは、収集する側だけの問題ではなく、出す側もその一端を担っている。被災による混乱と破損物によるごみの大量発生のため、分別がよく行われない状況が発生した。図-8は高月らによる神戸市における震災によるごみ質の変化の調査結果である³⁾。厨芥が減り紙類や繊維類、ガラス、陶器類の割合が増加している。また都市ガスが停止したため卓上ガスコンロが使われ、カセットボンベが多く廃棄された。震災前にはごみ1トン当たりのカセットボンベは0~17本であったのが、震災後には約160本になったという調査結果が報告されている³⁾。

このような結果、一般廃棄物の焼却現場では図-9に示すような状況が発生した。通常よりごみの発熱量が高くなり、焼却温度が上昇した。ガラス類等の混入によりクリンカーの発生が多くなった。さら家屋内の

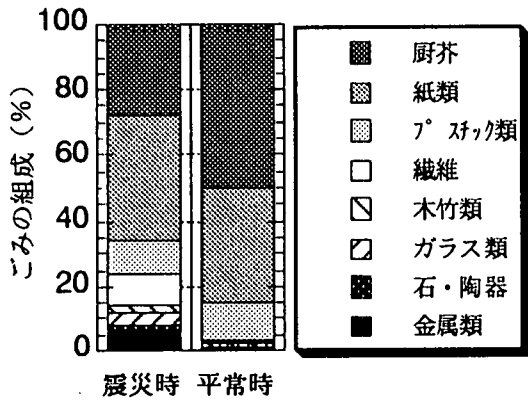


図-8 震災時と平常時の家庭ごみの組成

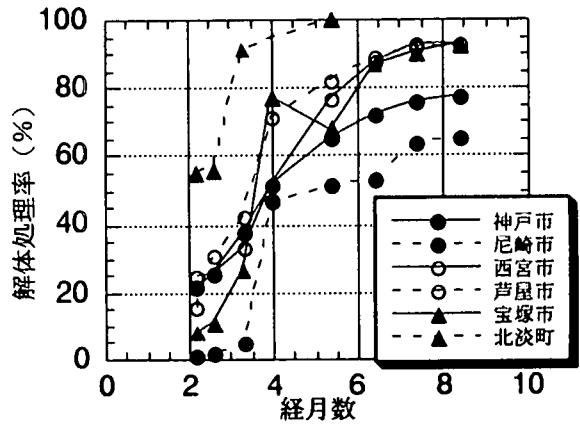


図-10 解体進捗率

被害の後かたづけと、炉の運転が一時的に停止したためごみの量が増加した。これらはいずれも炉に対する大きな負担となった。他市町によるごみ焼却の応援も多く行われた。神戸市が2月20日に全ての焼却施設の運転を再開するまでに応援により焼却された量は11620トンに及ぶ²⁾。

(4) 災害廃棄物の蓄積

家屋の倒壊等により大量の災害廃棄物が発生した。兵庫県が見積もっている処理対象家屋数は120644棟で、それによる瓦礫の推計発生量は不燃物1087万トン、可燃物は377万トンである。

図-10は解体処理の進捗状況である。北淡町をはじめとした淡路島では7月にほぼ終了したのに対し、阪神間、とくに神戸市、尼崎市でやや遅れている。

図-11は撤去方法を示したものである。神戸市では4カ月以降仮置き保管している量が減少し、処理が進んでいる。一方西宮市では、撤去されたものは大部分仮置き保管されており、処理よりもまず撤去が行われていることを示している。

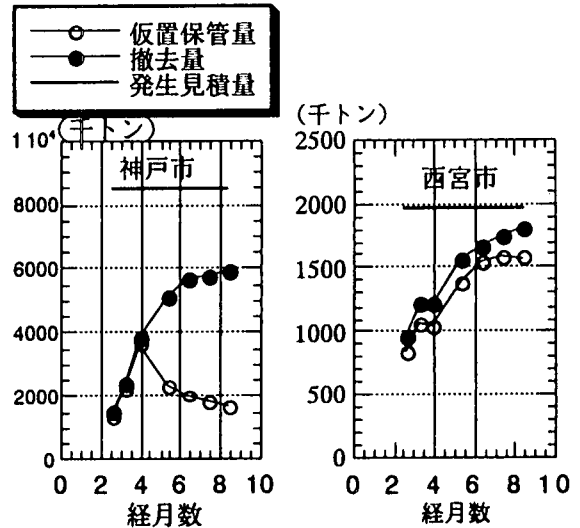


図-11 解体撤去量と仮置き保管量

(5) 蓄積による衛生的影響

先に述べたように阪神間では1月末頃まで通常の50%程度しかごみの収集が行われなかった。著者らが聞き取り調査を行った結果では、「最も遅い区で1月20日より収集再開」(神戸市), 「19日より収集

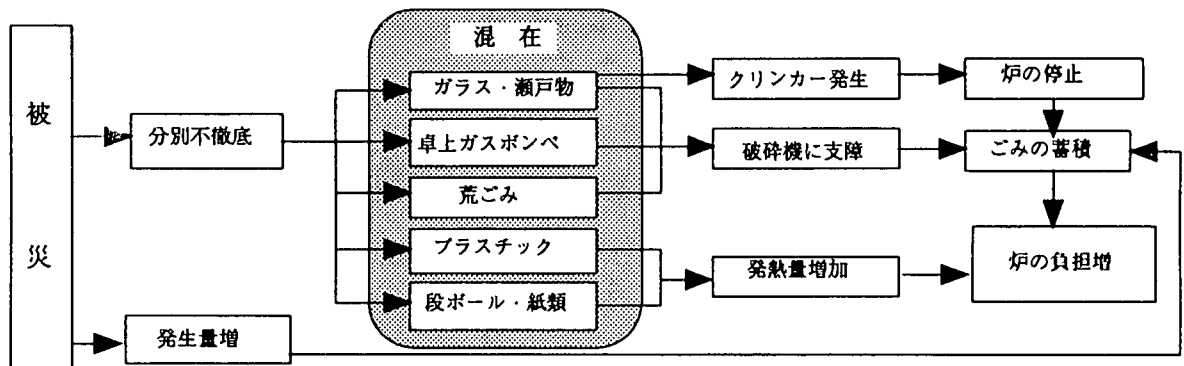


図-9 一般廃棄物の処理上の問題

を再開し、25日で90%を収集」(芦屋市)、「通常は週3回収集であるが、3週間で2~4回の収集を終了」(尼崎市)、「3週間でほぼ正常な収集に戻りつつある」(西宮市)といった状況であった。また兵庫県内に仮設トイレの必要基数が設置されたのは1月26日のことである。

このようにごみの収集が遅れるとともに、仮設トイレの設置に数日~10日程度を要したが、衛生上の深刻な問題は発生しなかった。

5. 静脈系ライフラインの復旧過程の評価

(1) 下水道の復旧過程

すでに述べたように、阪神地方におけるポンプ場や下水処理場の復旧は、上水道の復旧に遅れることなく迅速に進められ、環境に対する大きな影響を及ぼす事態には至らなかったものと考えられる。唯一、神戸市東灘処理場において、放流汚濁負荷量が一時、通常の4倍近くにまで増大したと推定されるが、仮設沈殿地の利用により4倍を越える事態は防がれたものと思われる。むしろ被害の甚大さから見れば、最大限の対応がなされたと見るべきであろう。

これに対し排水設備の修繕は、上水道に比べてやや遅れた感がある。そのために汚水の逆流等の事故が発生した。しかし修繕数の多さ、上水道工事にも対応しなければならない状況を考えれば、修繕速度を向上させることは難しい。むしろ上水道の復旧と合わせて対応する体制をつくっていくことが肝要と考えられる。

東灘処理場では、ポンプ場から処理施設へ汚水を送水する導水渠の部分から破壊されてしまった。そのため一部合流式のために設置されていた雨水ポンプを運転して、緊急の処理と排水を行った。合流式の場合、中継ポンプ施設や管渠にも晴天時にはゆとりがある。このような合流式ゆえの冗長性も、地震対策のひとつとして利用することを考えることができるのではないだろうか。

(2) 廃棄物処理システムの復旧過程

廃棄物の蓄積は都市の衛生上の問題を引き起こすことになる。生ゴミは夏季のように腐敗微生物の生育環境がよい場合には、4時間程度経過すると微生物が対数増殖期に入り始め、臭気を発生し始める(4)。

図-12はわが国における月別の食中毒発生件数の過去3年間の平均である。気温の高い6月から10月に集中している。

サルモネラ菌は動物の腸内にいる細菌で、ネズミ

やハエ、ゴキブリなどにより媒介される。

ハエの発育も温度により非常に影響される。幼虫から羽化までに要する日数の研究結果⁵⁾を図-13に示す。本図以外にも、イエバエの場合、最も早いと7日程度で卵から成虫になる。幼虫における発育零点はナミクバエで3℃、センチクバエで5.5℃、イエバエで8.9℃という報告がある⁵⁾。

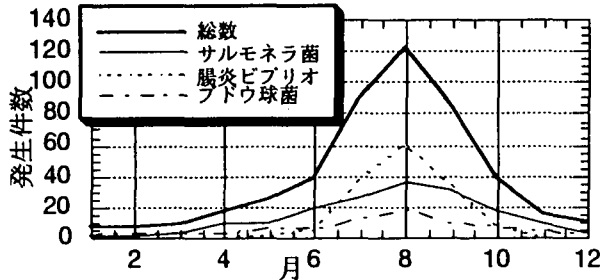


図-12 わが国の月別食中毒発生数

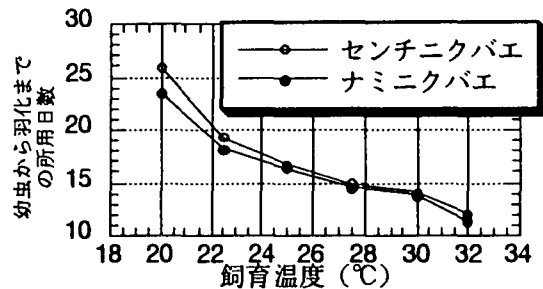


図-13 ハエの生育と温度の関係

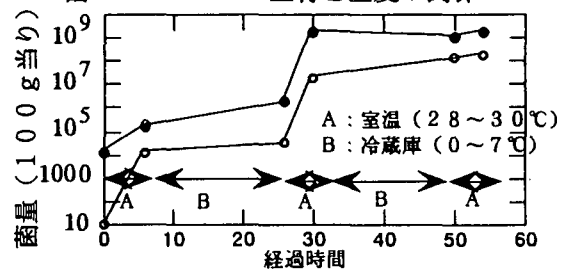


図-14 調理エビ中の腸炎ビブリオの消長

図-14は腸炎ビブリオの消長である⁶⁾。0~7℃に対して30℃においては比増殖速度が15倍以上、数十倍になっている。腸炎ビブリオ菌は海水や魚対中に分布している細菌で、35℃付近に至適発育温度をもち、最低発育温度は3~13℃といわれている。最適な条件のもとでは、食品中で2時間程度でも中毒をおこす菌量に達する。魚介類やそれを扱うまな板、ふきんなどに増殖するが、ハエによっても運搬される。

以前はハエの発生源はごみ箱、尿尿(便池、野つぼ)等であったが、現代の都市においてはごみ処理処分場が最大の発生源となっている。地震災害時には、都市内に蓄積されたごみや、使用不能になった

トイレ、あるいは維持管理が十分されなかった場合の仮設トイレなどが、発生源になるだろう。

神戸市における1, 2月の過去3年間の月平均気温は6℃台、平成7年の1, 2月は5℃台である。これはハエの生育はほとんど見られない温度であり、腸炎ビブリオの増殖も非常に少ない温度である。7, 8月の月平均気温は約27℃である。図-14からおおまかに読みとれる、28~30℃においては非増殖速度が0~7℃の15倍という結果を、腐敗細菌や、病原菌の増殖速度の目安とすると、ごみの放置の猶予期間は、夏季は冬季の1/15となる。また病原菌の媒介となるハエの発生の面からも、冬季はほとんど問題にならないが、夏季では10日の放置はハエの大発生を招くことになる。

さきに述べたように、阪神淡路大震災ではごみの収集は地震発生の数日後より再開され、一通りの収集が終わるのに2~3週間程度を要している。以上のことから考えて、夏季ならば1~2日後には収集を再開し、少なくとも1週間程度で一通りの収集を終えることが必要と考えられる。

図-8に見られるように、震災時には厨芥の割合は平常時の約半分になっている。したがって、細かい分別はできないまでも、厨芥だけでも分別し優先的に収集することができれば、収集機能の低下分をいくらかなりとも補える。また各戸収集を行っている市町村においても、臨時的にステーション収集を行うことで、交通渋滞の影響を減らすことも可能となろう。仮設トイレの設置とその維持管理にも、冬季以上の人員を割り当てる必要がある。

6. あとがき

本論文では、排除を受け持つ下水道やごみ収集処理システムのような、静脈系のライフラインについて、阪神淡路大震災における被災と機能低下、復旧について検討した。下水道の復旧がおおむね上水道よりやや早かったこと、地震の発生が冬季であったこと、などのために、静脈系ライフラインの機能低下が深刻な影響を及ぼすまでには至らなかった。しかし夏季の場合を考えると、上水道と連携した下水道の復旧や、ごみの速やかな収集と仮設トイレの設置、維持管理のために、日頃からの対策の検討と適切な人員配備が求められる。

お忙しい中を調査にご協力をいただいた各自治体の方々、研究の進行に協力を得た鳥取大学工学部社会開発システム工学科城戸由能助教授に謝意を表す。

[参考文献]

- 1) 神戸市下水道局：阪神・淡路大震災における下水道復旧の記録, 1993. 7.
- 2) 春風敏之：兵庫県における災害廃棄物とその対策, 廃棄物学会誌第6巻5号, pp. 373-379, 1995.
- 3) 高月紘・酒井伸一・水谷聡：災害と廃棄物性状, 廃棄物学会誌第6巻5号, pp. 351-359, 1995.
- 4) 石川禎昭：ごみ教養学, 中央法規出版, 1989.
- 5) 林晃央・篠永哲：ハエ, 生態と防除, 文永堂, 1979.
- 6) 坂崎利一：食中毒, 中央法規, 1981.

Damage of vein lifelines by the Great Hanshin-Awaji Earthquake and their restoration

Yoshihiko Hosoi, Yasunori Kozuki, Shigeru Noda and Nobuoto Nojima

Not only lifelines which supply energy, water and goods but also those removing waste water and domestic wastes from a city are indispensable for urban metabolism. They can be called "vein lifeline". In this paper, the damage of vein lifelines which include collecting and treatment systems of sewage and wastes by the Great Hanshin-Awaji Earthquake and its effect on urban life were reported. Discussion was carried out in relation to deficit of water supply system and accumulation of garbage in urban area.