

平成13年度 厚生科学研究費補助金

厚生科学特別研究事業

水道におけるバイオテロ対策としての迅速高感度な
微生物検出方法の開発に関する研究

研 究 報 告 書

主任研究者 遠藤 卓郎

目 次

I. 総括研究報告書

- 水道におけるバイオテロ対策としての迅速高感度な
微生物検出方法の開発に関する研究 1
遠藤 卓郎

II. 分担研究報告書

1. 緊急時対応・監視対策に係わる指針 9
国包 章一
2. バイオテロ対策用病原微生物濃縮装置の試作 17
平田 強
3. ポリ塩化アルミニウム (Polyaluminium Chloride) 凝集剤 29
および炭酸カルシウムを用いた病原微生物濃縮装置
松野 重夫
4. 水道におけるバイオテロ対策としての迅速高感度な細菌
検出方法の開発 41
補遺「炭疽菌の特異的なスクリーニング法の検討」 67
伊藤健一郎
5. 試験方法の検討および細菌類の遺伝子検出技術の開発 81
(河川における細菌叢)
黒木 俊郎
6. 病原体の薬剤耐性—炭疽菌芽胞の塩素耐性試験— 85
八木田健司
7. ボツリヌス毒素の塩素耐性について 95
八木田健司
8. 水を標的としたテロの歴史的背景 101
金子 光美

III. 参考資料

1. IDWR より 111
2. 情報提供 142

I. 総括研究報告書

厚生科学研究費補助金（厚生科学特別研事業）

総括研究報告書

水道におけるバイオテロ対策としての迅速高感度な微生物検出方法の開発に関する研究

主任研究者	遠藤 卓郎	国立感染症研究所寄生動物部
分担研究者	伊藤健一郎	国立公衆衛生院衛生微生物学部 室長
	金子 光美	摂南大学工学部経営工学科 教授
	国包 章一	国立公衆衛生院水道工学部 部長
	黒木 俊郎	神奈川県衛生研究所細菌病理部 主任研究員
	平田 強	麻布大学環境保健学部 教授
	松野 重夫	国立感染症研究所感染症情報センター 主任研究官
	八木田健司	国立感染症研究所寄生動物部 主任研究官

平成 13 年 9 月 11 日に米国 ニューヨークで発生した大規模テロに端を発して、世界的にテロリズムの脅威が一気に増した。の使用は可能で、今日の世界情勢からすればわが国において生物・化学兵器によるテロ行為を現実問題としてその対応策を講じざるを得ない情勢にある。本研究では、生物兵器として飲料水を対象とした使用が危惧されるウイルス、細菌、原虫類に対する迅速・高感度の検出法を検討し、緊急時対応・監視対策に関わる資料とした。

検査対象を配水池以降の水道水、主要な病原体を炭疽菌芽胞として、UF 膜を用いたろ過装置及び凝集剤を用いた濃縮・回収装置を開発した。病原体の迅速検出方法として各種病原体に特異的な遺伝子塩基配列を対象としたリアルタイム PCR を採用し、その条件設定を行った。膜ろ過式濃縮装置の仕様は外圧式・デットエンド UF 膜を用いたカートリッジ式モジュールを採用した。並列したモジュールに電磁弁により単位時間毎に水路を切り換えて水道水を導入し、懸濁物の回収を行うよう設計した。モニタリング能力の目標値を、通常運転で 12 時間ごと、緊急時には 2 時間ごとの特定病原体のモニタリングを可能とするところに設定した。本装置の濃縮能力は通常運転で 120L/12hr、最大で 120L/2h、連続運転で 500L 以上の通水能力を持たせた。本装置による *B. subtilis* 芽胞の回収率はおおむね 80% を保証した。また、ポリ塩化アルミニウム凝集剤 (PAC) を用いた濃縮装置は、上水に濁質と PAC を注入し、形成されたフロックを連続遠心機でフロック回収するものである。処理能力は通常で 120L/12hr、最大 60L/2hr 程度となるよう設計した。また、単位時間ごとに水道水の濃縮試料を回収・保存し、汚染病原体の特定、発生場所、時間等々を追跡できるよう配慮した。

病原微生物のモニタリングは濃縮試料を用いて DNA 抽出、次いでリアルタイム PCR 反応を採用した。炭疽菌に特化した場合、当該研究で開発した PCR プライマーを含め、現在使用可能なプライマーはいずれも単一で病原微生物を特定できるに至らなかった。そのため、複数のプライマーセットを用い、培養やその他の状況証拠から判断する方法を提唱した。PCR 反応の感度は細菌数として ~10 個/tube 程度と、高感度が保証された。

これらに加え、水道を対象としたテロリズムに関する文献等参考資料の収集、および過去の事例資料紹介を行った。併せて、炭疽菌の芽胞およびボツリヌス菌毒素の消毒に要する有効塩素濃度の検討を行い、事後処理方法への一助とした。本研究の成果を冊子にまとめ、関係機関への配付を行うこととした。

A. 研究目的

本研究事業ではバイオテロリズムにより水道水に混入されることが予想される病原微生物を常時監視し、迅速かつ高感度に検出する試験方法を開発することを目的とした。バイオテロリズムは病原微生物を故意に散布、混入することで住民を感染症に陥れ、あるいはその危険性に対する精神的な不安と恐怖を介して混乱させるために行われる。国内においても、既にカルト集団による炭疽菌やボツリヌス毒素の散布事件が発生している。今日の国際情勢からテロ行為が行われる可能性は否定できない。いわゆる生物兵器として利用されることが予想される病原微生物、特に炭疽菌がテロ行為により水道水に混入されることを想定した場合、混入の監視と迅速検知が被害を最小限に抑えるための条件となる。

本研究では、検査対象を上水とし、現在使用可能である各種の濃縮方法と病原微生物の分子生物学的検出法の組み合わせを検討し、迅速で高感度な検出システムの構築を目的とした。具体的には、水試料の連続的な濃縮装置を開発し、病原微生物を補足する。濃縮装置として、1つは外圧式の限外ろ過膜（UF膜）モジュールによるろ過方式とポリ塩化アルミニウム凝集剤を用いた凝集沈殿法の2方式について開発を行った。病原体検出手段は複数の特異遺伝子を対象とした蛍光プローブ等を用いたリアルタイムPCRと微生物学的な検査方法を同時並行的に実施することとした。併せて、監視体制の強化に向けた指針の策定に資するべく過去に起きた水道関連のテロ事例等に関して整理した。

B. 研究方法

水道に対する微生物テロを想定した場合、病原微生物の投入地点として、水源、原水取水点、導水路、浄水場内、配水池などが考えられるが、①原水に病原体が投入された場合には、一連の浄水処理工程で病原体の希釈・除去が期待できること、②多くの病原体は塩素消毒に対して感受性があることから安全性の確認には飲用に供される水道水中に活性のある病原体が検出されるか否かが重要であること、③懸濁物質の多い原水よりも、懸濁物質

が除去された水道水は濃縮が容易であること、④原水中の多様な微生物の共存により病原微生物の選択検出が難しくなること、などの理由から、飲用に供される水道水を対象とすることとした。また、濃縮水量と濃縮時間に関しては、生水の飲水量を平均200mL、許容感染リスクを 10^{-2} /年（ $=2.7 \cdot 10^{-5}$ /日）、テロ微生物の1%感染量を1個と仮定すると、許容濃度は1個/200mlとなる。検出法（PCR法）の検出限界を対象微生物100個とすると、試験1回分の水道水ろ過水量は20Lとなる。そこで、予備を含めて最大6回の試験（培養試験を含む）に対応できるよう、標準濃縮水量を120Lとした。濃縮時間は、PCR法による検出に要する時間を考慮し、緊急時2時間、通常時12時間とし、その双方に対応できる装置とすることとした。UF膜カートリッジモジュールの選定にあたっては、市販のMF膜カートリッジ、UF膜カートリッジについて、通水能力、濁質（*Bacillus*属菌の芽胞）の捕捉力、及び膜面からの濁質の易回収性について検討した。その結果、ウイルスの捕捉・回収も視野に入れてUF膜を選定した。UF膜ろ過濃縮装置は通常の運転で1本のモジュールに対して12時間分の通水を行い、一週間単位で自動的に試料採取ができるよう設計した。また、緊急事への対応として試料回収の間隔を狭めることも可能とした。一方、ポリ塩化アルミニウムによる凝集沈殿を応用した濃縮装置は通常の浄水処理に用いられる技術の応用で、濁質の除去効果すなわち回収効率はずでに検証済みである。本研究では、炭疽菌に特化した回収条件を別途に検討した。

病原体の検出には迅速性と感度を重視する観点からリアルタイムPCR法を採用し、既存のプライマーに加えて新たなプライマーおよび蛍光プローブの設計を行った。併せて、水道原水の細菌叢の中には多種類の*Bacillus*属菌が存在することから、疑似反応による混乱回避にむけて複数のプライマーの選択を行った。

水道におけるバイオテロ対策の一環として、これまでに知られるテロ行為の文献的考察と資料の蒐集を行った。また、監視体制の強化に向けた指針を提示した。

C. 研究結果及び考察

1. バイオテロ対策用病原微生物濃縮装置の開発

水道に対する微生物テロを想定した場合、病原微生物の投入地点として、水源、原水取水点、導水路、浄水場内、配水池などが考えられるが、

- ① 原水に病原体が投入された場合には、塩素消毒を含む一連の浄水処理工程で病原体の希釈・除去が期待できること
- ② 安全性の確認には飲用に供される水道水のモニタリングが重要であること
- ③ 原水中の多様な微生物の共存により病原微生物の選択検出が難しくなること
- ④ 水道水の濃縮は容易で、多量に処理することが可能であること、等の理由から水道水を対象とし、濃縮水量と濃縮時間に関しては、生水の飲水量、病原体の感染量、検査法の検出限界等々を考慮して、標準濃縮水量を120Lとした。

1.1. 膜ろ過式濃縮装置

外圧式中空糸膜モジュールを用いたろ過濃縮装置として、市販のカートリッジ式膜モジュールの濃縮効率および試料の易回収性に関する性能試験を行い UF 膜モジュール1機種を選定した。濃縮装置本体は膜モジュールを15本並列につなぎ、電磁弁による流路切替えて、12時間ごと1週間、あるいは2時間ごと14本の試料を連続的に採取できるよう設計した。

1.2. 凝集沈殿式濃縮装置

塩素耐性を持つ炭疽菌芽胞等に特化した濃縮装置としてポリ塩化アルミニウムによる凝集沈殿を応用した濃縮装置の開発を行った。水道水に濁質、凝集剤等を添加し、病原体を凝集沈殿物中に捕捉し、連続的に回収した。

2. 病原体検出方法の検討

2.1. 河川における細菌叢

炭疽菌の検出システムに何らかの弊害を与えることが予想される *Bacillus* 属菌を中心にした好気性芽胞菌は河川中に広く分布していることが知られている。そこで、神奈

川県内の10河川の河川水からの分離を行い、河川水における好気性芽胞菌の分布と構成種を調査し、細菌学的性状と16S RNA遺伝子について分析した。

2.2. 炭疽菌の迅速・高感度検出法

病原体の検出には迅速性と感度を重視する観点からリアルタイムPCR法を採用し、既存のプライマーに加えて新たなプライマーおよび蛍光プローブの設計を行った。PCR反応の感度は細菌数として ~ 10 個/tube程度の試料からの検出が可能であることを確認した。その一方で、PCRによる検出では環境細菌、特に近縁種との交差反応あるいは非特異反応が否定できないものと判断された。

2.3. その他の病原微生物検出のためのPCR反応条件

水道水を対象とした生物テロに用いられる可能性のある病原微生物のPCR用プライマーと反応条件を検討した。

3. 病原体等の塩素耐性試験

3.1. 炭疽菌芽胞の塩素耐性

炭疽菌は発育・生存条件によって芽胞を形成することが知られ、形成された芽胞は熱、紫外線、消毒薬など物理化学的な外部環境に対して極めて強い抵抗性を示す。炭疽菌芽胞による汚染を想定し、消毒剤として最も良く用いられる塩素による消毒効果を検討した。今回の検討で50mg/Lの塩素濃度が維持されていれば10分以上の接触で 10^7 CFUを不活性化できることを確認した。一方、塩素濃度を10mg/Lに低下させると不活性化効果が極端に低下することが明らかとなった。塩素消毒では10~50mg/Lの濃度間に不活性化の変曲点が存在することを示した。

3.2. ボツリヌス毒素の塩素耐性

水道水を標的としてボツリヌス毒素によるバイオテロの可能性を検討するため、ボツリヌスA型毒素を水道水中での安定性を検査した。A型毒素を研究所内に配管されている水に加えて、経時的に塩素濃度とマウスに対する致死毒素活性を測定したところ、塩素濃度0.39mg/LではボツリヌスA型毒素は速やかに不活化されることを確認した。

4. 危機管理体制の構築

4.1. 緊急時対応・監視対策に係わる指針

バイオテロ行為によって、飲料水を原因とする健康被害等の発生予防、拡大防止などの危機管理の適正を図ることを目的に、水道事業者等がバイオテロの緊急時対応・監視対策指針を策定する際の考慮すべき事項、ならびにその留意点に整理した。水道におけるバイオテロ対策としては、バイオテロの影響規模等を想定した「監視対策」に係わる取り組みや早期発見、状況把握・判断、適切な措置・報告など「緊急時対応」として、組織体制や行動指針などを整備しておくことが重要である。

4.2. 水道施設を標的としたテロ行為に関する資料

水道施設を標的としたテロ行為に関する文献的考察を行い、テロ行為に及ぶ動機、方法、判明に至る芸伊藤について概説した。

D. 結 論

水道施設を標的とした生物兵器によるテロ行為には多量の病原体が必要で、これが抑止力の1つとなっていた。しかし、病原体の大量生産が可能となったこと、水を介した伝播は確実性が高いこと、投入方法によっては必ずしも希釈・拡散されないこと（押し出し流れ）など、テロの実効性が考えられる状況にある。さらに、炭疽菌を例に取れば、水道水を標的とした場合には高度な技術を要するとされる芽胞の兵器化（微細顆粒化）は不要で、最も低い技術レベルでテロ行為に及ぶことが可能である。従って、水道施設がテロの標的とされる可能性は否定できない。過去の例を参考にして水道におけるテロ対策を列記すれば下記のようになる。

- * 業務における緊張感の維持
- * 浄水システム全体でのテロ対策の立案・実施
- * 施設の弱点の整理と情報管理の徹底
- * 各行政単位での危機管理体制の確立
- * 関係機関との連絡体制と情報交換
- * 暴露予測
- * 水源及び施設への暴露予測
攻撃方法（直接投入、空中散布、上流域での汚染等々）の整理と影響予測
- * 事後対策の立案
緊急給水体制の整備
浄水処理の強化方法
広報活動と風評被害防止
- * モニタリングシステムの導入と充実
- * 訓練の実施
- * 施設内への侵入者の監視と地域住民による協力体制

水道におけるテロ対策に求められるのは、水道施設への病原体の投入防止と迅速な検出システムの構築、および事後処理等である。本研究では水道水からの病原体捕捉手段としてUF膜を用いたろ過装置及び凝集剤を用いた濃縮・回収装置を開発した。病原体の迅速検出方法として各種病原体に特異的な遺伝子塩基配列を対象としたリアルタイムPCRを採用し、その条件設定を行った。これらの技術および緊急時対応・監視対策に係わる指針をもとに水道施設におけるテロ対策の構築がなされるものと期待する。なお、当該研究事業においては、生物兵器として最も容易に用いられる可能性のある炭疽菌芽胞に関しては一部特化した形で詳細に検討したことを付記する。

あわせて、水道におけるバイオテロ対策に係る検査体制の作業の切り分けについて参考資料として以下に示した。

参考資料：水道におけるバイオテロ対策に係る検査体制の作業の切り分け

テロと戦争や他の暴力行為との区別は容易でなく、犯行組織、攻撃手段、標的、その他いずれ要素をとっても明確に区別することは難しい。すなわち、テロとは一義的に被害を受けた側の主観的な判断によるもので、そのことは紛争当事者間でのやり取りを聞けば明らかである。そこで、テロ行為を『社会的な混乱を企図した暴力あるいは妨害行為』と定義した。暴力の行使は銃火器等の通常兵器から化学兵器や生物兵器、果ては核兵器の使用まで様々なものが考えられる。また、状況によっては風評という手段も武器となり得る。いわゆるテロ行為の背景には政治、宗教、怨恨、あるいは排他的信条など様々である。さらに、愉快犯的なものまで考えられる。社会の複雑化とともに心理的不安を抱える者が多くなり一般の犯罪も多様化する今日では、水道を狙ったテロを想定して、水道当局はテロ対策を講ぜざるを得ない時代にあると考える。今まで公園的施設として親しまれてきた水道施設を出入管理区域とせざるを得ないのは嘆かわしい。

生物兵器は他の兵器と著しく異なった性質を備えている。すなわち、病原体の自己増殖、あるいは二次的な感染により被害が拡散する性質である。人類は病原微生物の本体が解明される以前からこの性質を武器として悪用してきた。今日では、微生物学の発達により大量の病原体を安価、容易に調達できる状況となっている。炭疽菌はその典型例で、培養の容易さと強い感染性・病原性から『貧者の核』と称されている。ところで、天然痘ウイルスは現在もっとも恐れられている生物兵器であるが、ここに至った理由は思わぬところにあることを知るべきである。すなわち、病原体の撲滅は人類にとって挑戦であり目標である。医学的な視点から見れば天然痘の撲滅は人類が為し得た快挙であったといえる。しかしながら、この成果がもたらしたものは生物兵器としての天然痘ウイルスの脅威でもある。換言すれば、純粋科学での快挙は政治の世界

での暴挙となった。今にして思えば、ワクチンというもう一方の人類の快挙を廃棄した行為はあまりにもナイーブで、労せずして生物兵器としての威力を倍加してしまったと言える。今まさにポリオが撲滅に最も近い疾病とされ、注目されている。本症は腸内ウイルスであるポリオウイルスに起因する疾患で、糞便を介して汚染が広がる。従って、水道水を介した感染も想定されよう。世界情勢に変化がないまま、ポリオの撲滅宣言、ついでワクチン製造の停止へと短絡すれば、ポリオウイルスは遠からず新たな生物兵器としての地位を確立することになる。過去の反省なくして事を進めれば愚行のそりは免れない。

水道施設を標的とした妨害行為の原型は紀元前から認められる。歴史を辿れば古くはBC6世紀にアッシリア軍が井戸に麦角を投げ込んだ例、クリッサ朝時代には下剤効果のある薬草を投入した例にまで遡ることができる。時代が下がって、1998年には政治的要求を掲げてタジキスタンのKairakkhum運河のダム爆破を予告したテロ組織があった。1999年にはザンビアのLusaka市で配水管爆破事件が起きている。紛争で敵兵の死体を飲用井戸に投げ込む蛮行は現代においてなおしばしば認められている。翻って、わが国においても特に農業用水をめぐる争いの歴史は知られるところで、激しい抗争に発展したことも希ではなかった。しかし、これらはもっぱら水利権獲得のための争いであり、社会的混乱を目的とした破壊行為ではなかった。

水道施設を標的としたテロ行為には多量の生物兵器が必要で、これが抑止力となってきたといえる。しかし、病原体の大量生産が可能となったこと、水を介した伝播は確実性が高いこと、投入方法によっては必ずしも希釈・拡散されないこと（押し出し流れ）などから、水道施設がテロの標的とされる可能性は否定できない。

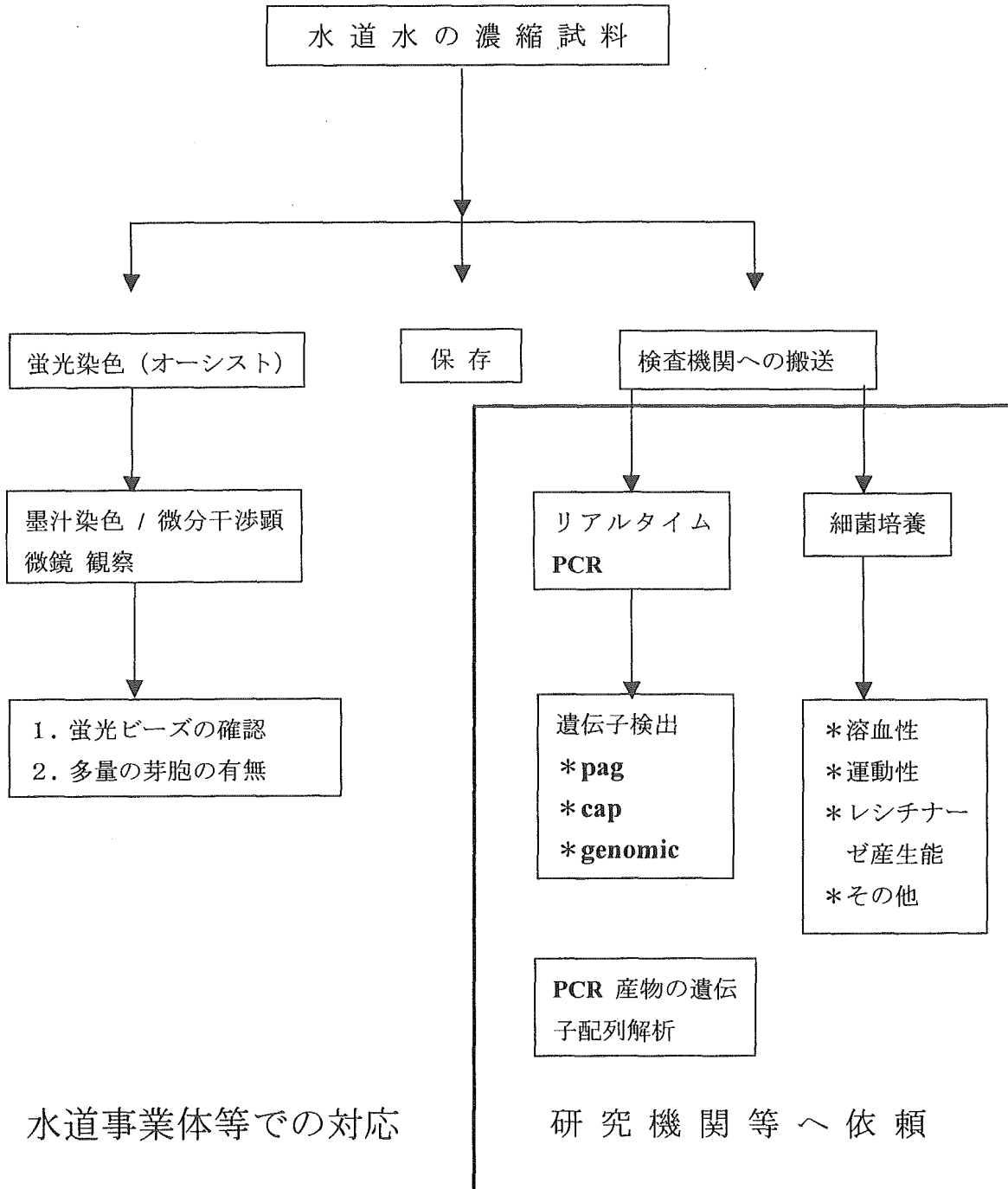
過去の例を参考にして水道におけるテロ対

策を列記すれば下記のようなになる。

- 業務における緊張感の維持
- 浄水システム全体でのテロ対策の立案・実施
- 施設の弱点の整理と情報管理の徹底
- 各行政単位での危機管理体制の確立
- 関係機関との連絡体制と情報交換
- 暴露予測
 - ・ 水源及び施設への暴露予測
 - ・ 攻撃方法（直接投入、空中散布、上流域での汚染等々）の整理と影響予測
- 事後対策の立案
 - ・ 緊急給水体制の整備
 - ・ 浄水処理の強化方法
 - ・ 広報活動と風評被害防止
- モニタリングシステムの導入と充実
- 訓練の実施
- 施設内への侵入者の監視と地域住民による協力体制

水道におけるテロ対策に求められるのは、水道施設への病原体の投入防止と迅速な検出システムの構築、および事後処理等である。現在の情報公開という原則からは大きくはずれることになるが、もう 1 つ重要なテロ対策として具体的な方法論を公表しないことが挙げられる。テロ対策の敷衍は抑止力につながるが、具体的な手段が漏洩された場合にはその効力は失われる。あらゆる対策の網をくぐり抜けることこそがテロ行為であることに留意すべきである。本小冊子の編集・作製は水道施設を標的とした生物兵器によるテロ対策に資することを目的とする

作業の切り分け



II. 分担研究報告書

厚生科学研究費補助金（厚生科学特別研究事業）

分担研究報告書

緊急時対応・監視対策に係わる指針

分担研究者 国包 章一 国立保健医療科学院 水道工学部

協力研究者 秋葉 道宏 国立保健医療科学院 水道工学部

研究要旨：バイオテロ行為による、飲料水を原因とする健康被害等の発生予防、拡大防止などの危機管理の適正化を図ることを目的に、水道事業者等がバイオテロの緊急時対応・監視対策マニュアル等を作成する際の指針として考慮すべき事項やその留意点について整理した。まずバイオテロ行為の事前対応として、使用の可能性のある生物剤、投入場所、影響規模等を想定した取り組み、水道施設のパトロール体制、防護対策、水質検査体制、関係他機関との連絡体制等を、次に事後対応として、情報収集・集約、連絡体制、緊急時の対応、適切な措置を述べた。

1. 目的

水道におけるバイオテロ対策としては、バイオテロの影響規模等を想定した「監視対策」に係わる取り組みや早期発見、状況把握・判断、適切な措置・報告など「緊急時対応」として、組織体制や行動指針などを整備しておくことが重要である。

本分担研究では、バイオテロ行為による、飲料水を原因とする健康被害等の発生予防、拡大防止などの危機管理の適正化を図ることを目的に、水道事業者等がバイオテロの緊急時対応・監視対策マニュアル等を作成する際の指針として考慮すべき一般的な事項、ならびにその留意点について述べる。

2. バイオテロの想定

水道事業者等は、バイオテロの事前対応として、平常時から使用の可能性のある生物剤、投入場所、影響規模等を想定した取り組みが重要である。これらの取り組みについては、社会的・地理的条件、水道施設の規模やそのウイークポイント、取水施設、浄水施設、送配水施設等の位置関係を考慮しておくことが必要である。

ここでは、バイオテロに使われる生物剤、バイオテロ発生に伴う影響規模や水道施設における投入場所を想定し、その留意点について述べる。

2.1 バイオテロに使われる生物剤の想定

生物剤として「使用される可能性のある」あるいは「水を媒介として脅威となる可能性のある」病原体と毒素については W.D.Burrows と S.E.Renner(1999)によって報告されている。W.D.Burrows らがまとめた生物剤の中から、“使用される可能性が大きい” 病原体と毒素に

ついて抜粋したものを表1に示した。この中で、炭疽菌、野兎病菌、Q熱リケッチャ、リシン、ポツリヌス菌毒素、アフラトキシンは、使用される可能性が大きく、かつ水を媒介として脅威となる可能性も大きい生物剤である。

2.2 バイオテロの影響規模の想定

バイオテロの発生対策を講じるためには、住民の生命・健康への被害レベルや水道施設の管理等における影響規模を想定することが重要である。留意事項を以下に示した。

(1) 住民の生命・健康への被害レベルから見た影響規模の分類

- ・ 住民の健康被害等を生じない場合
- ・ 住民の健康被害等を生じる場合、又はそのおそれのある場合
- ・ 住民の生命の危険を生じる場合、又はそのおそれのある場合

(2) 水道施設の管理等の観点から見た影響規模の分類

- ・ 取水停止に至らない場合、及び短時間の取水停止（浄水停止）を行うが水運用等によって送配水が継続できる場合
- ・ 長時間の取水停止（浄水停止）を行い、減断水を生じる場合
- ・ 給水の緊急停止を行う場合

2.3 水道施設における流達・流下時間及び浄水処理による除去可否の想定

バイオテロの発生対策を講じるためには、水道施設に生物剤が投入場所を想定し、それぞれの施設における生物剤汚染の流達時間の推定や希釈の程度、浄水場での有効な処理強化の手段をあらかじめ整理しておくことが重要である。留意事項を以下に示した。

(1) 水源に生物剤を投入され、取水口に到達するおそれのある場合

- ・ 水源切り替え等の対策によって生物剤の影響を阻止できる場合
- ・ 対策を講じても生物剤の影響を阻止できない場合

(2) 取水口を通じて生物剤汚染水が流入し、又は生物剤汚染水を取水後、浄水施設に至るおそれのある場合

- ・ 浄水処理強化等の対策によって生物剤の影響を阻止できる場合
- ・ 対策を講じても生物剤の影響を阻止できない場合

(3) 浄水段階で生物剤が投入され、又は浄水処理強化等の対策によって生物剤の影響を阻止できず、生物剤汚染水が送配水施設に至るおそれのある場合

(4) 送配水・給水段階で生物剤が投入され、又は浄水処理強化等の対策によって生物剤の影響を阻止できず、生物剤汚染水が送配水・給水施設に至ってしまった場合

3. バイオテロ行為の早期発見

水道事業者等にとって、バイオテロ行為による生物剤汚染の発生を未然に防ぐことが最優先事項であり、そのためには、日常の適切な維持管理を行うことともに、バイオテロ行為の早期発見が重要である。

ここでは、バイオテロの事前対応、あるいは早期発見のために、水道施設のパトロール体

制、防護対策、水質検査体制、関係他機関との連絡体制等について述べる。

3.1 水源監視の強化、取水施設、浄水場、配水池等のパトロール体制の強化と防護対策

近年、水道施設の運転維持管理等の要員は、運転の自動化と保守の簡素化等の進展によって減少傾向にあり、水源上流域や管路等のパトロールに当てる人的余裕がない場合もあるが、バイオテロ行為の未然防止のためには極めて重要であるから、水道事業者等は極力これらを実施すべきである。留意事項を以下に示した。

- (1) 水源監視の強化
- (2) 施設のパトロール体制の強化
 - ・ パトロールは日常管理の一環として、担当者を定めて定期的を実施
 - ・ 警備会社へ委託する場合、警備員の身元等の把握
- (3) 施設周辺のフェンス等の整備・不良箇所の補強
- (4) 施設内の不審物の有無を確認するための清掃の実施、門扉の常時閉止、立看板・赤色回転灯の設置、マンホールの封印
- (5) 施設出入り口のセンサーや工業用テレビ（ITV）による監視
- (6) 浄水場等では来訪者や出入り業者の管理の徹底
 - ・ 退出入の管理名簿の作成
 - ・ 出入り業者、浄水場見学者等の管理の徹底
 - ・ 浄水場見学者の立入禁止区域の明示
 - ・ 職員証明書等の発行
 - ・ 車両通行証等の発行
- (7) 施設関係図面、備品等の適切な管理
 - ・ 施設関係図面、備品等の保管・管理の徹底
 - ・ 保管責任者の明確化

例えば、横浜市水道局では米国で発生した同時多発テロを契機として、水道施設のパトロール体制の強化、浄水場出入り業者管理の徹底等の対策が実施されている（表2）。

3.2 水質検査体制等

水道事業者にとって、バイオテロ行為の早期発見のためには原水・浄水、送配水施設の水質監視が極めて重要である。留意事項を以下に示した。

- (1) 水質検査体制の強化
 - ・ 常時監視可能な場所に水質監視用魚類水槽（原水・浄水）の設置
 - ・ 水質の連続監視が可能な自動水質監視装置の設置（原水・浄水、配水施設）
 - ・ 原水・浄水、送配水施設の水質検査の強化（一般細菌、芽胞菌など）
 - ・ 緊急時の原水・浄水、送配水施設の水質検査体制の確立
 - ・ 送配水管には水圧異常低下を検知する水圧計を要所に設置

3.3 広域水源水質監視体制及び他機関、一般住民との連携

水道事業者等は、バイオテロ行為の早期発見のためには、水源水系ごとに設置された広

域水源水質監視体制に積極的に参加して、河川管理者や上下流の水道事業者等との連携を図るとともに、バイオテロ行為による感染者等が発生した場合に備え、保健所・公衆衛生担当部局との密接な連携が重要である。また一般住民が水道施設周辺で不審な行動を目撃した場合、情報提供に対する対応体制を確立することが必要である。留意事項を以下に示した。

(1) 広域水源水質監視体制

- ・ 河川管理者、都道府県の水道行政担当部局・環境行政担当部局及び流域の関連市町村・水道事業者等とともに、「水質連絡協議会」等の広域水源水質監視体制の積極的活用
- ・ 広域水源水質監視体制が未整備の場合、自ら上下流の関係水道事業者とともに、積極的に体制整備を図る必要があり、また河川管理者、都道府県の水道行政担当部局・環境行政担当部局等に対して体制整備の働きかけ

(2) 他機関、一般住民との連携

- ・ 給水区域内、上流域におけるバイオテロ行為による感染者等が発生した場合に備え、保健所・公衆衛生担当部局との密接な連携を図る
- ・ 一般住民からの情報提供に対して、平日勤務時間内、夜間及び休日の連絡窓口の設定や情報内容の記録、報告等の対応体制の明確化

4. 情報収集・連絡体制の確立および状況判断・適切な措置

水道事業者等は、バイオテロ行為による生物剤の投入の事実、及び生物剤汚染が発生した場合、関係者に緊急通報するとともに、その後の対応状況などの進展に応じて適宜適切な情報収集・集約や伝達を行わなければならない。また、生物剤汚染状況の判断などを的確に行って、必要かつ適切な緊急措置を講じなければならない。

ここでは、バイオテロ行為の事後対応として、情報収集・集約、連絡体制、緊急時の対応、適切な措置について述べる。

4.1 情報収集・連絡体制の確立

バイオテロ行為が発生時には情報が混乱して思わぬ弊害を招くことがあるから、これを避けるために、水道事業者等は、情報の収集・集約や伝達の担当者を事前に定めておくとともに、技術管理者等の責任者が状況を把握して対応策を判断・指示できるように、事業者内部の連絡網・連絡要領や指示系統を明確にしておく必要がある。同様に、事業者外部の関係他機関との連絡網を定めておく必要がある。留意事項を以下に示した。

(1) 水道事業者等の内外の関係者に対する連絡体制の確立

- ・ 情報収集・集約や伝達の担当者の明確化
- ・ 水道事業者等の内外の関係者への連絡網の整備、連絡用の書式様式の作成
- ・ 技術管理者等指揮命令責任者への連絡体制の整備
- ・ 事業者内での連絡体制の整備（初動体制、対策本部の設置、人員配備体制、

相互応援体制の整理)とともに、緊急時に職員が参集できる体制の確定

- ・ 事業者外での関係機関の整理(市町村及び都道府県防災担当部局、警察署、都道府県水道行政担当部局、公衆衛生担当部局・保健所、公共用水域の水質保全の担当部局、同水系水道事業者、用水供給事業者又は受水事業者、厚生労働省等)及び連絡体制の整備(対策状況、水源・水系状況等に関する情報交換、応急給水の依頼)
- ・ 近隣の市町村からの応援体制の関係者への周知

4.3 状況判断・適切な措置

バイオテロ行為が発生した場合、対応の遅れや不適切な対応・措置によって重大な被害を招く恐れがある。こうした事態を避け、早急、かつ適切に対応するためには、水道事業者等は想定した影響規模に応じて、緊急措置実施の判断を行う責任者や指示系統を定めておく必要がある。また、応急措置に必要な資機材を前もって整備・点検しておくことも必要な点である。留意事項を以下に述べる。

(1) 給水停止措置等の明確化

- ・ 緊急時の指揮命令系統の明確化
- ・ 給水停止方法のマニュアル化等に位置づけ
- ・ 給水停止時に被害が及び範囲の事前把握
- ・ 緊急措置を行う場合に必要な資機材の備蓄・整理

(2) 応急復旧体制や応急給水体制等緊急事態への対応体制の確立

- ・ 給水車等応急給水時に必要な資機材の備蓄・整備
- ・ 応急復旧方法のマニュアル化等に位置づけ
- ・ 配水系統の切り替え、他の水道事業者からの緊急応援の考慮

5. 広報体制の確立

バイオテロが発生し、住民等の健康等を害するときあるいはそのおそれのあるときは、水道事業管理者等は、健康被害等を受ける住民あるいはそのおそれのある住民に対して、直ちに飲用の禁止等の広報を適切に実施しなければならない。事故への対応状況に応じて、水道事業者等の対応措置や生物剤汚染状況などに関する広報を適宜適切に実施する必要がある。

住民等に対しては、危険の周知徹底、受水槽等の排水・洗浄勧告等の広報方法を明確にし、住民からの電話等への対応は住民の不安をあおらないよう回答内容を統一する。テレビ・新聞等マスメディアは広報の手段として重要であるので、これらの報道機関の窓口を明確にし、記者発表・会見に当たっては、事前に発表原稿や予想される質問の回答を準備する。また、取材に応じた際には、定められた様式に沿って、取材日時、取材者、取材内容、応答内容を記入して、対策本部へ連絡する。

6. 訓練・研修

水道事業者等は、関係者に対しては平素からマニュアル等の関係者への周知徹底や緊急事態対応訓練を実施し、訓練による問題点の明確化や水道施設の維持管理に逐次反映させる。

7. 見直し

マニュアル等は、常に実態に合ったものとするように、適宜適切に改訂する必要があるため定期的な見直しを実施する。

参考文献

- 1) Burrows, W.D. and Rennner S.E.(1999)Biological warfare agents as threats to potable water, Environmental Health Perspectives, 107(12), 975-984
- 2) 金子光美(2002)水道水質管理のあれこれ -その⑤-, 水道技術ジャーナル、21、32-35
- 3) 金子光美(2001)微生物テロと狂牛病との関係、環境技術、30(11)、851-854
- 4) 日本水道協会(2000)突発水質汚染の監視対策に関する研究平成 11 年度報告書
- 5) 財団法人水道技術センター(1999)水質汚染事故に係わる危機管理実務要領策定マニュアル
- 6) 横浜市水道局(2002)水道局における危機管理対策について、水道、47(2)、63-65

表 1 生物剤に使われる可能性の大きい病原体と毒素*

病原体、病名、毒素		水中での安定性	消毒剤との関係**
細菌	炭疽菌	2年(芽胞)	効果なし(芽胞状態)
	ブルセラ菌	20-72日間	不明
	ウェルシュ菌	下水中に存在	耐性有
	鼻疽菌	30日まで	不明
	ペスト菌	16日間	不明
	野兎病菌	90日まで	塩素 1mg/l、5分で不活化
リケッチャ	Q熱リケッチャ	不明	不明
	発疹チフス	不明	不明
ウイルス	脳炎ウイルス	不明	不明
	出血熱ウイルス	不明	不明
毒素	アフラトキシン	おそらく安定	おそらく効果なし
	ポツリヌス菌毒素	安定(毒素)	塩素 6mg/l、20分(毒素)で無毒化
	リシン	安定	10ppmで効果なし
	ブドウ球菌腸毒素	おそらく安定	不明
	T-2マイコトキシン	安定	効果なし

※ 文献 1)2)を参考に一部改変

※※特に指定のないものは、常温、1ppm 以下の遊離塩素で 30 分接触

表 2 各施設における侵入防止強化（横浜市水道局）※

区分	従来からの実施項目	対応強化項目
取水施設	①外周フェンスの整備：1.8m から 2.5m に嵩上げ ②門扉等にセンサーを設置 ③ITV による施設監視の実施 ④施設異常時の現地調査等の初期対応を警備会社へ委託	①パトロール強化：1 回/日 →4 回/日 ②警察へのパトロール依頼
浄水場	①外周フェンスの整備：1.8m から 2.5m に嵩上げ ②門扉等にセンサーを設置 ③ITV による施設監視の実施 ④施設異常時の現地調査等の初期対応を警備会社へ委託	①パトロール強化：1 回/日 →4 回/日 ②警察へのパトロール依頼 ③浄水場出入り業者等に対し、入場許可証の発行
配水池	①外周フェンスの整備：1.8m から 2.5m に嵩上げ ②門扉、施設出入り口等にセンサーを設置 ③施設異常時の現地調査等の初期対応を警備会社へ委託	①パトロール強化：2 回/月 →1 回/日 ②警察へパトロール依頼

※ 文献 6)を参考に一部改変

バイオテロ対策用病原微生物濃縮装置の試作

分担研究者 平田 強 麻布大学環境保健学部

協力研究者 森田 重光 麻布大学環境保健学部

水道施設に対する微生物テロによる水道水汚染の早期発見に資することを目的に、水道水中の微生物の濃縮・回収装置の開発を試みた。濃縮媒体には市販の限外ろ過膜モジュールか、精密ろ過膜モジュールを候補とした。まず、限外ろ過膜3種類および精密ろ過膜3種類、計6種類の膜モジュールのろ過性能を評価した。その結果、6種類のいずれもほぼ定速で500Lのろ過が十分可能であった。次に炭疽菌 *Bacillus anthracis* の同属種である *B. subtilis* の芽胞を添加した水道水50Lを用いてろ過回収能力を評価した。その結果、80%以上の高回収率を示したのは精密ろ過膜1種類及び限外ろ過膜1種類のみで、残りの4種類の回収率はいずれも50%以下であった。良好な回収率を示した2種類の膜モジュールについてはさらに *B. subtilis* 芽胞添加量を4,500個とした系でも評価したところ、高い回収率が得られた。これらの結果に基づき、ろ過媒体として最終的に限外ろ過膜モジュール1種類を選定し、ろ過濃縮装置を試作した。

A 研究目的

2001年9月11日以降、米国で微生物テロが多発したことに鑑み、厚生労働省は2001年10月に「米国の同時多発テロを契機とする国内におけるテロ事件発生に関する対応について」を各地方自治体の水道関連施設等に通知し、施設の警備強化や水質管理の徹底を指示したが、水道水の適切な濃縮装置が開発されていない。微生物テロの早期発見の手段の一つとして、検査用水道水濃縮試料を常時準備しておき、必要と判断されたときに速やかにそれを検査に供する方法が考えられる。そこで本分担研究では、水道施設に対する微生物テロ等による水道水の作為的汚染の早期発見と汚染微生物の特定および汚染状況の把握のための検査試料を迅速に提供

できるろ過濃縮装置の開発を試みた。

B 濃縮装置装置開発に当たっての基本方針

(1) 対象水

水道に対する微生物テロを想定した場合、病原微生物の投入地点として、水源、原水取水点、導水路、浄水場内、配水池などが考えられるが、

1. 原水に病原体が投入された場合には、一連の浄水処理工程で病原体の希釈・除去が期待できること
2. 懸濁物質の多い原水よりも、懸濁物質が除去された水道水のほうが、大量濃縮が容易であること。
3. 原水には多種多様の微生物が存在しており、それらが共存すると病原微生物の選択検出が困難になりやすいこと。

特に培養法でその傾向が顕著であること。

4. 塩素感受性微生物は塩素消毒により不活化されるので、水道水の安全性の確認には直接飲用に供される水道水が最も重要であること。

などの理由から、本研究では原水を対象とせず、飲用に直接供される水である水道水を対象とすることとした。

(2) 濃縮水量と濃縮時間

生水の飲水量を平均 200mL、許容感染リスクを 10^{-2} /年 ($=2.7 \cdot 10^{-5}$ /日)、テロ微生物の 1% 感染量を 1 個と仮定した。このときの許容濃度は 1 個/200 mL となる。検出法 (PCR 法) の検出限界を対象微生物 100 個とすると、試験 1 回

分の水道水ろ過水量は 20L となる。そこで、予備を含めて最大 6 回の試験 (培養試験を含む) に対応できるよう、標準濃縮水量を 120L とした。濃縮時間は、PCR 法による検出に要する時間を考慮し、緊急時 2 時間、通常時 12 時間とし、そのの双方に対応できる装置とすることとした。

(3) 濃縮媒体

水中の微生物を濃縮する媒体として市販の中空糸膜を利用することとし、候補として精密ろ過膜 (MF 膜) 3 種類および限外ろ過膜 (UF 膜) 3 種類の計 6 種類の中空糸膜モジュールを選定した。選定した各中空糸膜モジュールの概要を表 1 に示す。中空糸はいずれもポリカーボネートまたはアクリル製のハウジングに装填されている。

表 1 微生物濃縮用中空糸膜の概要

膜No.	製造会社	孔径または分画分子量	膜面積 (m ²)	材 質
UF-1	A社	150,000 daltons	0.1	セルロースアセテート
UF-2	B社	50,000 daltons	1.0	親水化ポリスルホン
UF-3	B社	100,000 daltons	1.0	ポリメチルメタアクリレート
MF-1	B社	0.3 μm	0.6	親水化ポリスルホン
MF-2	C社	0.1 μm	0.1	親水化ポリスルホン
MF-3	D社	0.3 μm	0.2	親水化ポリプロピレン

(4) ろ過方式

その目的から考えて、膜モジュールの中空糸膜面上に捕捉した微生物が簡単な操作で容易に剥離回収できることが極めて大切である。そこで、剥離のしやすさと回収効率を考慮し、外圧型デットエンド方式とした。

(5) 残留塩素の消去

濃縮装置内ではろ過濃縮過程で残留塩素の存在する水道水が常時供給されることになるので、膜面に捕捉された細菌類はろ過濃縮過程の間、

残留塩素に暴露されることになり、膜面上で不活化が進行して、結果として実際の汚染を低く見積もるおそれと考えられる。そこで、ろ過直前の段階でチオ硫酸ナトリウム溶液を注入して残留塩素を消去できる装置とすることとした。なお、残留塩素の消去は逆に、膜面上での微生物の増殖をもたらす危険性があることから、残留塩素注入装置を停止した状態でも運転可能なものとする事とした。

(6) サンプリングとモジュール交換