

(3) 残留塩素に依存しない系において、リスク値を一定以下にするためには給配水系は現状のままでよい
か？ 運転管理法はどうか？ 改善の方策は？

これらの検討を実施するためには、Hazard Identification 段階で対象とすべき病原微生物と化学物質(副生成物)を定め、これらの対象物が給配水系でどのように変化するか(管網内での反応, コンタミネーション, 微生物の regrowth)を給配水系の流況(圧力・滞留時間分布)との関係で考察し、給水栓における対象物質の濃度分布から健康リスクの確率特性を求めることになる。

給水栓における対象物質の濃度分布に影響を与える要因として次の項目を想定する。

(1) 浄水の水質(配水池へのInput)

浄水水質に影響を与える要因は

- ・ 原水水質とその変動パターン
- ・ 処理システムの構成と個々の処理効率とその変動パターン
- ・ 消毒法とその効率と変動パターン

(2) 配水管網の規模・構造

- ・ 配水池容量
- ・ 配水系の絶対的な大きさ
- ・ 需要水量と管径のバランス
- ・ 配水管網の構造(配水池の数, ブロック化等, 管径分布)

(3) 給水系の構造と存在割合

- ・ 建物の規模とその分布(直結給水, 高架水槽等の分布)
- ・ 需要水量の空間・時間分布

(4) 給配水系の運転・利用状況

- ・ 通常状態
- ・ 火災発生時
- ・ 制限給水時(時間給水, 減圧給水等)
- ・ 管路事故時, 災害時(地震・水害)

また、シミュレーションモデルの構築にあたっては、

- ① 原水水質+処理系+消毒系+配水池+配水管網+給水系 を総合的に扱うモデルフレームの構築(健康リスクの所在の定性的評価)
- ② Hazard Identification: 検討対象物質の設定 現状データより検討対象の病原微生物, 副生成物としての化学物質を設定する。
- ③ 要素モデルの同定
 - ・ 要素モデル: 原水水質モデル, 処理ユニットモデル, 消毒モデル, 配水池内水質変化モデル, 需要水量モデル, 管網圧力分布・滞留時間分布モデル, 給水系分布モデル
 - ・ 現状データに基づく統計解析により同定

また、シミュレーション実施時には、以下の検討が必要となる。

(1) シミュレーション対象の類型化

- ・ 類型化の座標軸： 1. 原水水質， 2. 配水区の規模， 3. 需要形態・給水構造
- ・ ある程度，実態を反映したシミュレーション対象を設定したい。

(2) 長期シミュレーションによる残留塩素非依存系の健康リスク評価

- ・ 平常時，火災時，制限給水時（時間給水，減圧給水等），管路事故時について各要因の健康リスクへの寄与を定量的に評価
- ・ それぞれの生起確率を用いて50～100年スケールでの健康リスクの総合化を図る

(3) 残留塩素系と非残留塩素系の比較

- ・ 平常時について，残留塩素系と非残留塩素系についてDALY値を用いた比較
- ・ シミュレーション対象は各類型から選択

以上の計画のうち，2005年度は（1）検証対象物質（病原微生物）の選定，（2）原水水質＋処理系＋消毒系＋配水池＋配水管網＋給水系におけるリスクファクターの同定と要素モデルに関する文献調査を実施した。

B. 研究方法

(1) 検証対象病原微生物の選定

検証対象物質（病原微生物）の選定では，国立感染症研究所¹⁾のデータをもとに，日本における感染症の事例，ならびに水系感染症の事例を調査し，年間の発生数を感染症による疾病の影響程度による重み付けをおこなうことで，検討対象微生物の選定を試みた。疾病の影響程度の表現にはDALY値を用いた。

DALYとはDisability Adjusted life Yearの略で日本語では障害調整生命と言われている。1993年にWHOや世界銀行が世界の疾病負担の総合的な指標として公表したものである²⁾。

具体的には，DALYは次式で表現され，

$$DALY = LYL + YLD$$

このうち，LYLはある疾病が原因による早期死亡による健康の損失，YLDはある疾病が原因による障害の程度・持続が何年分の余命の損失を表現している。また，LYL，YLDはそれぞれ

$$LYL = \sum_i d_i e_i,$$

$$YDL = \sum_i N_i L_i W$$

ここに，d，Nは患者数，e，Lは損失期間，Wは病気の重みづけ（0～1）である

というように患者数に損失期間を掛け合わせて求められる。最終的にはDALYは次のように計算される：

$$DALY = \sum_i d_i e_i + \sum_i N_i L_i W_i$$

(2) 原水水質＋処理系＋消毒系＋配水池＋配水管網＋給水系におけるリスクファクターの同定と要素モデルに関する文献調査

原水から給水系にいたる検討のフレームを図-1のように設定し，総合的なシミュレーションモデル構築を念頭において，図中に記載した要素のいくつかについて文献調査を行い，これらのモデルならびにシミュレーションにおける必要数値に関する検討を実施した。

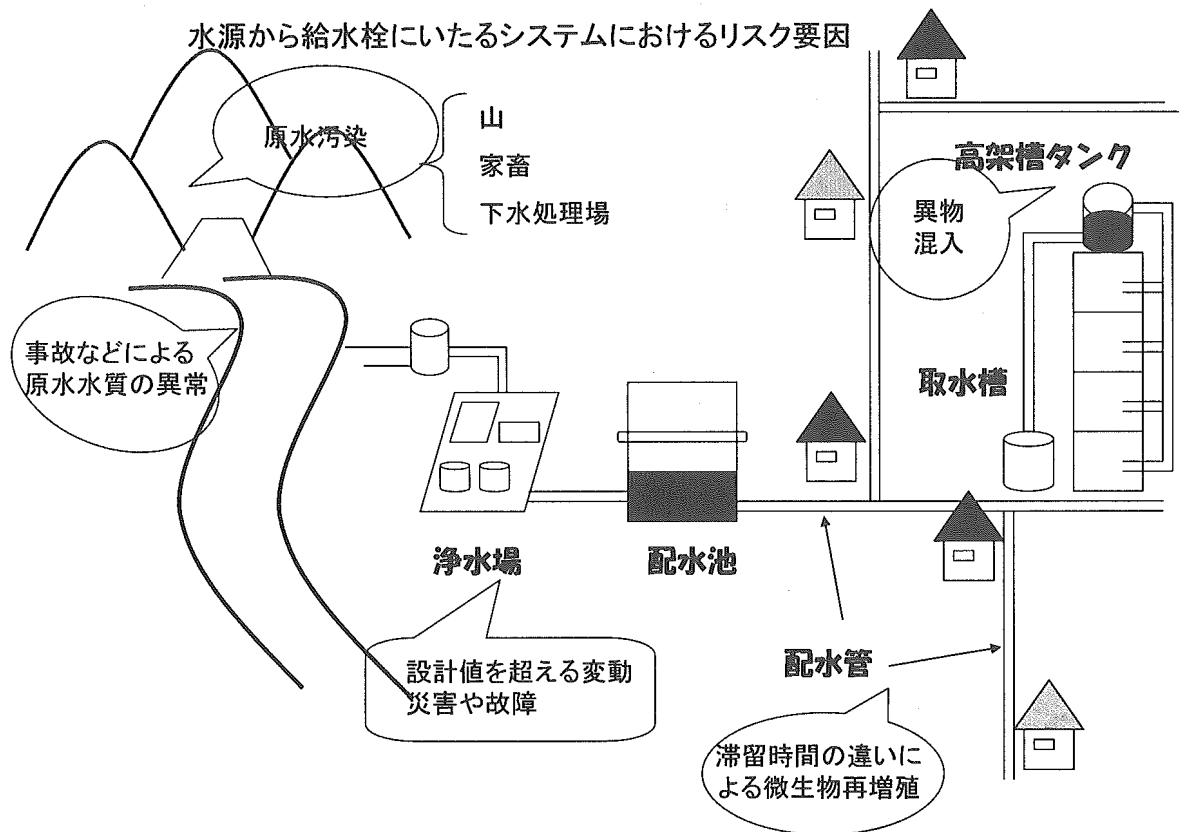


図-1 検討のフレーム

C. 結果と考察

(1) 検証対象病原微生物の選定

(1-1) 現在の日本における感染症事例¹⁾

ここでは、以下の14の感染症について感染の報告数、または患者数を調査した。まず、個々の感染症について、(a)その概要と(b)報告数または患者数の経年変化を示す。

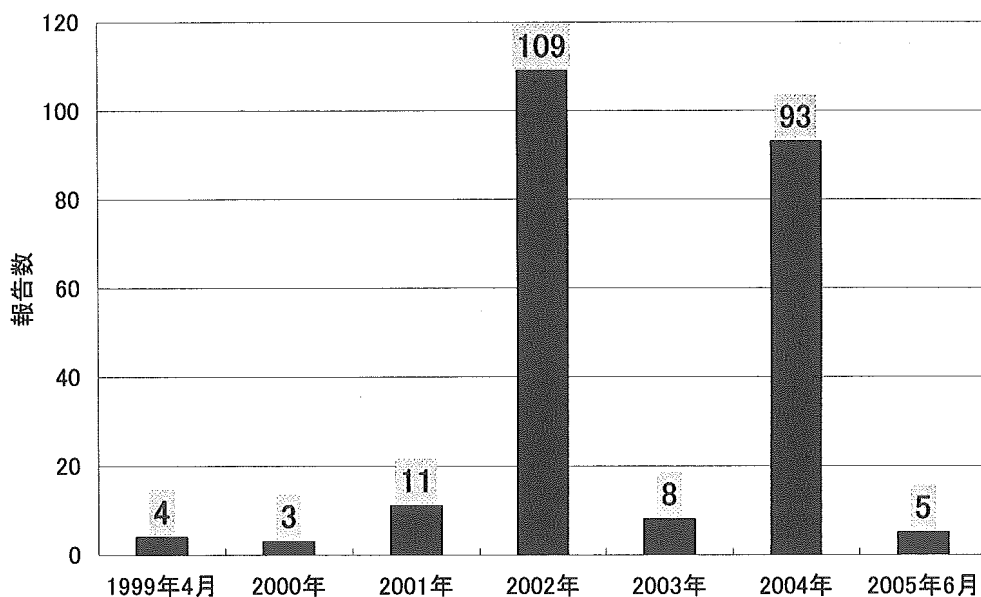
①クリプトスポリジウム

(a)概要¹⁾

クリプトスポリジウム症は5類感染症である(感染症の分類については参考資料を参照)。クリプトスポリジウム(*Cryptosporidium*)はウシ、ブタ、イヌ、ネコ、ネズミなどの腸管寄生原虫として知られてきたものであるが、ヒトでの感染は1976年にはじめて報告された。1980年代に入ってから後天性免疫不全症候群(AIDS)での致死性下痢症の病原体として注目され、その後ほどなく、健常者においても水様下痢症の原因となることが明らかとなった。日本の感染例としては1994年に神奈川県平塚市の雑居ビルで460人あまりの患者が発生し、1996年には埼玉県入間郡越生町で町営水道水を汚染源とする集団感染が発生、8,800人におよぶ町民が被害を被った。2002年、北海道胆振地方を旅行中の集団感染が2件発生している。なお、この例では感染源などは不明であった。また、十勝地方牧場見学中に子牛と接触することによる発症も報告されている。2004年、長野県の宿泊施設の水泳プールで感染例、千葉県で2次感染の例も報告されている。

(b)感染症報告数

報告数の経時変化を図-2に示す。現在の統計では報告数が記録されており、患者数ではないことに注意が必要である。



図－2 クリプトスポリジウム症報告数の経年変化

②ジアルジア

(a)概要¹⁾

ジアルジア症は5類感染症である。Giardia lambliaの感染によって引き起こされる下痢性疾患である。感染経路はいわゆる糞口感染で、ヒトとヒトの接触や食品を介した小規模集団感染と、飲料水を介した大規模な集団感染が知られている。水系感染による集団発生事例が先進諸国で問題となっている。

日本では年間100例前後である。このうち6割以上が海外での感染と推定され、また、集団感染事例は知られていない。わが国では熱帯地方への旅行者が輸入感染症として持ち込む例が多く、旅行者下痢症としての重要度が高い。水系感染による集団発生は欧米を中心に多数の事例が報告されているが、その多くは表流水を塩素で簡易に処理したのみで飲料水に供していた場合とされている。

(b)感染症報告数

感染症報告数の経時変化を図－3に示す。

③腸管出血性大腸菌

(a)概要¹⁾

腸管出血性大腸菌は3類感染症である。1990年埼玉県浦和市の幼稚園における井戸水を原因としたO157集団発生事件で、園児2名が死亡して注目された。その後、1996年に入り爆発的な患者数の増加をみた。この年の5月岡山県に始まった集団発生から、7月には大阪府堺市での患者5,591名に上る集団発生事件へと進展、その主な原因は給食あるいは仕出し弁当であった。1997年以降、集団事例の報告数は減ったものの、散発事例における患者数はほぼ横ばい状態で年間千数百人の患者が発生している。また、現在の複雑な流通事情を反映して、同一汚染食品が広範囲に流通した結果、一見散発事例と思われる同時多発的な集団事例も発生している。例えば、1998年には北海道産のイクラを原因食品として7都府県で患者49名が発生した事例が報告されている。さらに、2001年には輸入牛肉を原材料とした「牛タタキ」を汚染源とし、7都府県で240名の患者が発生する事例も報告されている。

(b)感染症報告数

次に、現在までの水系由来の患者数報告例を表-1にまとめる。これまでに、小規模水道での事例、井戸水に起因する例、ならびに受水槽に起因する例が報告されている。また、感染症報告数の経時変化を図-4に示す。

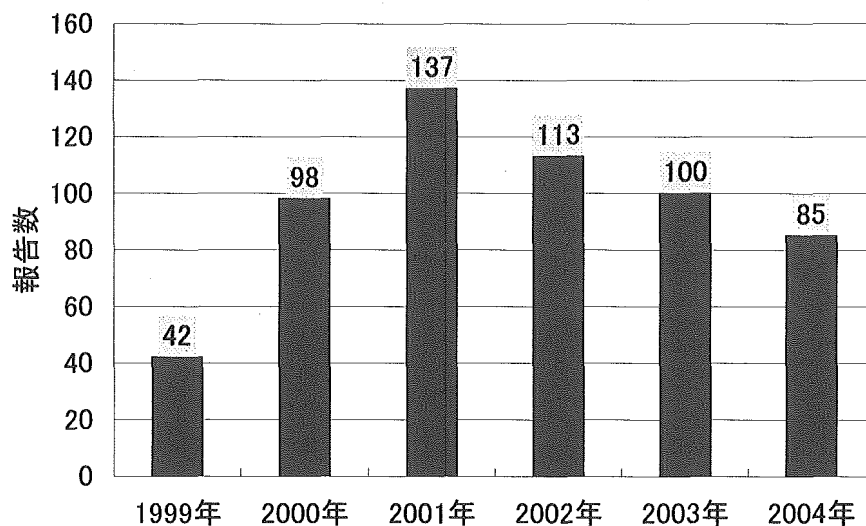


図-3 ジアルジア症報告数の経年変化

表-1 水系由来の腸管出血性大腸菌感染症患者数

年度	地域	施設	原因	患者数
84	東京	小学校	受水槽	228
85	大阪	中学校	水道	57
86	埼玉	飲食店	受水槽	44
88	広島	学校	井戸-水道	156
89	長野	地域	受水槽	463
90	熊本	宿泊施設	簡易水道	48
90	埼玉	幼稚園	井戸水	251
91	群馬	食堂	井戸水	326
92	東京	仕出し屋	井戸水	234
93	静岡	飲食店	井戸水	191
93	大阪	結婚式場	井戸水	1126
94	富山	雑居ビル	井戸水	483
99	長野	地域	小規模水道	4

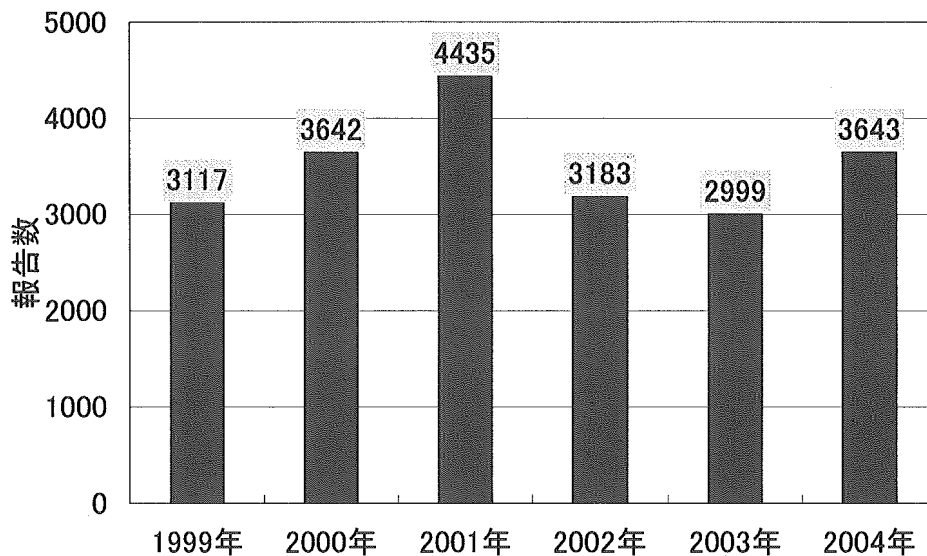


図-4 腸管出血性大腸菌感染症報告数の経年変化

④レジオネラ

(a)概要¹⁾

レジオネラは4類感染症である。全身性倦怠感、頭痛、食欲不振、筋肉痛などの症状に始まり、乾性咳嗽(2～3日後には、膿性～赤褐色の比較的粘稠性に乏しい痰の咯出)、高熱、悪寒、胸痛が見られるようになる。レジオネラ属菌は、もともと通常の環境に普通に存在する菌である。しかし、エアロゾルを発生させる人工環境(噴水等の水景施設、ビル屋上に立つ冷却塔、ジャグジー、加湿器等)が屋内外に多くなっていることなどが感染する機会を増やしている。2000年3月の静岡県の温泉、2000年6月の茨城県の入浴施設における集団発生では、それぞれ23名(2名死亡)、45名(3名死亡)が発症した。しかし、感染源の判明していない事例も多い。

(b)感染症報告数

レジオネラ症報告数の経時変化を図-5に示す。

⑤ノロウイルス

(a)概要¹⁾

ウイルス性胃腸炎の主要な病原体である。代表的なものが生ガキによる集団食中毒である。水を介する場合、さらにヒト-ヒトで伝播し、主に小児で流行する場合もあることが明らかになってきている。2003年、岩手で95人が発症、簡易水道が原因と疑われている。2004年～2005年において、老人施設でノロウイルスによる食中毒患者が多数出て7人が死亡している。2004年には島根で24人が発症し、簡易水道が原因と疑われている。また、2005年3月秋田で29人が発症、簡易水道が原因とされている。

(b)感染症報告数

感染症患者数の経時変化を図-6に示す。1998年(平成10年)は報告患者数が5,000人程度であるが、毎年増加し、2003年には1万人を越えている。2004年も1万人余りである。

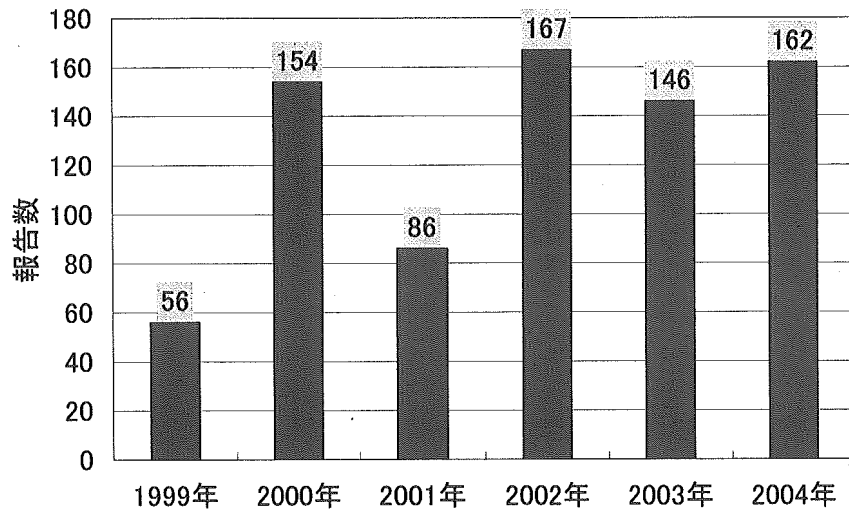


図-5 レジオネラ症報告数の経年変化

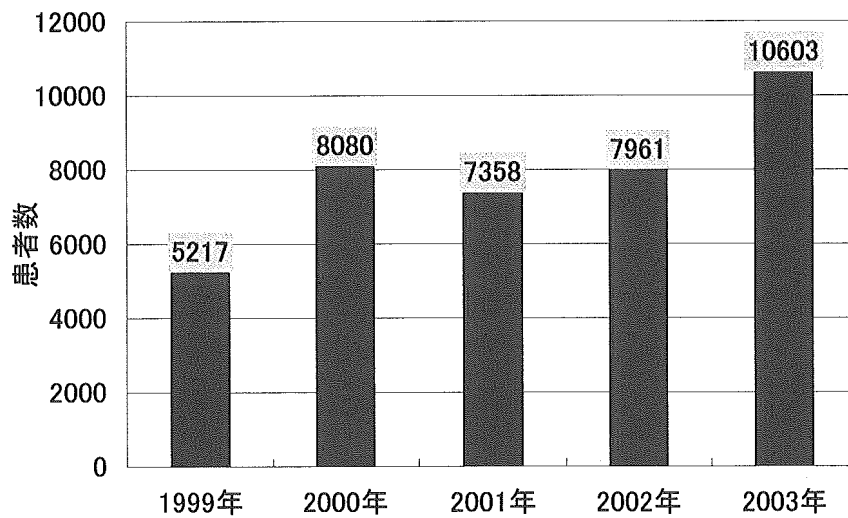


図-6 ノロウイルス感染患者数の経年変化

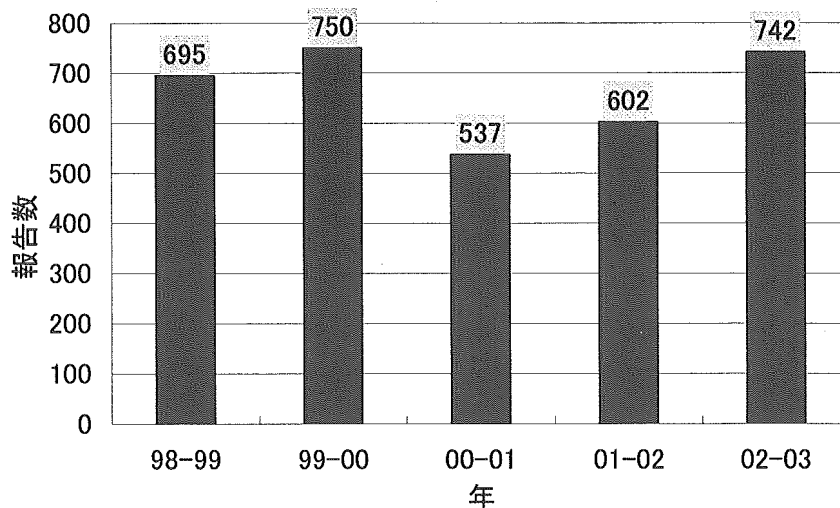
⑥ロタウイルス

(a)概要¹⁾

ロタウイルス胃腸炎の主な症状は嘔吐と下痢である。通常予後は良いが、ノロウイルスに比べると重症度が高い。稀に肝障害、痙攣、急性脳炎を伴うことがある。発展途上国ではロタウイルスは小児死亡原因の主要病原体である。毎年11月～12月にかけて急増し、3～4月以降減少している。

(b)感染症報告数

感染症患者数の経時変化を図-7に示す。



図一七 ロタウイルス胃腸炎報告数の経年変化

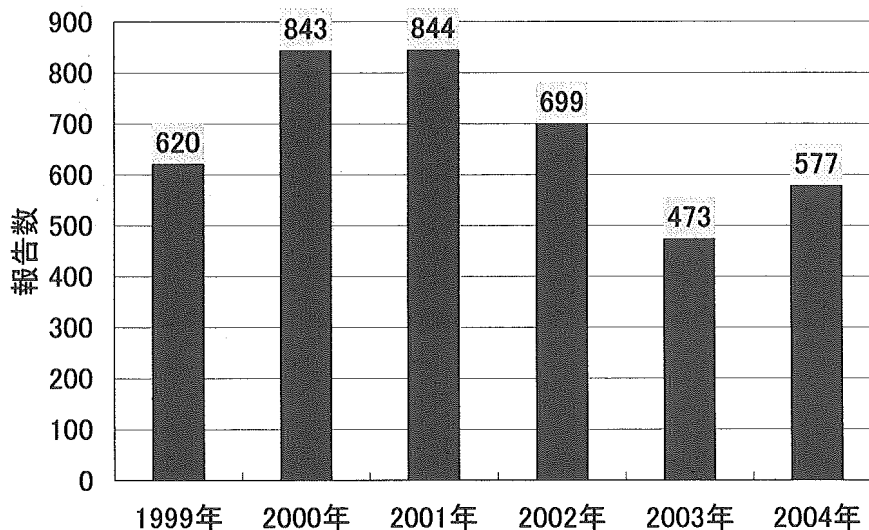
⑦細菌性赤痢

(a)概要¹⁾

細菌性赤痢は2類感染症である。わが国の赤痢患者数は、戦後しばらくは10万人を超え、2万人近くもの死者をみたが、1965年半ば頃から激減し、1974年には2,000人を割り、以降1,000人前後で推移している。最近では、主にアジア地域からの輸入例が半数以上を占めている。しかしここ数年、保育園、ホテル等での国内集団事例がみられ、また、1998年には長崎市の大学および附属高校で患者数821名をみた井戸水を原因とする大規模事例が発生している。2001年末には、カキ喫食が原因とみられる全国規模での散在的集団発生で多数の患者が報告された。

(b)感染症報告数

感染症患者数の経時変化を図一8に示す。



図一八 細菌性赤痢症報告数の経年変化

⑧腸チフス・パラチフス

(a)概要¹⁾

現在でも、日本を除く東アジア、東南アジア、インド亜大陸、中東、東欧、中南米、アフリカなどに蔓延し、

流行を繰り返している。わが国では昭和初期から終戦直後までは腸チフスが年間約 4 万人、パラチフスが約 5,000 人の発生がみられていたが、1970 年代までには環境衛生状態の改善によって、年間約 300 例の発生まで減少した。その後さらに減少し、1990 年代に入ってから腸チフス・パラチフスを併せて年間約 100 例程度で推移しており、そのほとんどは海外からの輸入事例で、海外旅行が日常化したことにより増加傾向にある。腸チフス・パラチフスの集団発生としては、1993 年に首都圏で 50 名の腸チフス患者、1994 年には近畿地方で 34 名のパラチフス患者、1998 年には関東地方で約 20 名のパラチフス患者がみられている。

(b)感染症報告数

感染症患者数の経時変化をそれぞれ図-9, 10に示す。

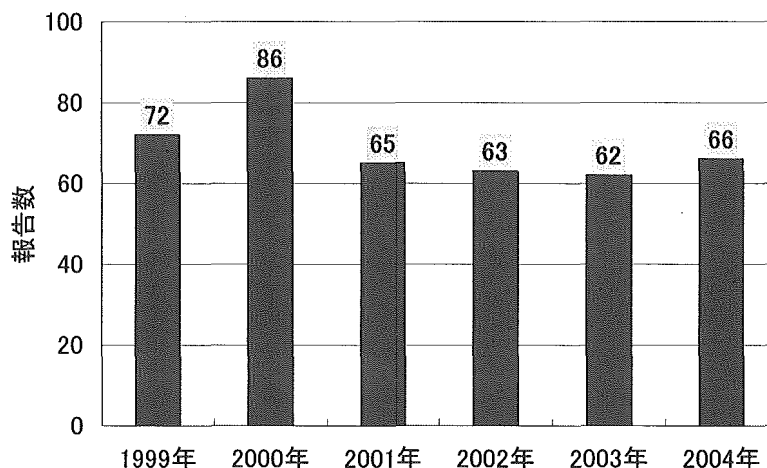


図-9 腸チフス患者数の経年変化

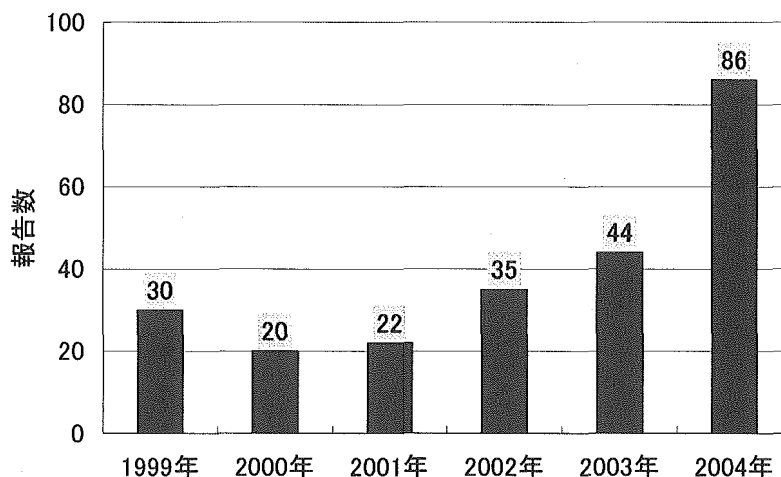


図-10 パラチフス患者数の経年変化

⑨コレラ

(a)概要¹⁾

コレラは2類感染症である。現在では国外感染例が80%以上を占める輸入感染症と位置づけられる。細菌性赤痢のような人から人への感染の危険はほとんどない。わが国では主に東南アジアにおける海外感染例が多いが、輸入食品由来と考えられる国内例も発生している。最近では軽症例が多いが、胃切除者や慢性胃疾患患者では無酸・低酸のため重篤になりやすく、数少ない国内での死亡例はこのような患者である。

(b)感染症報告数

感染症患者数の経時変化をそれぞれ図-11に示す。

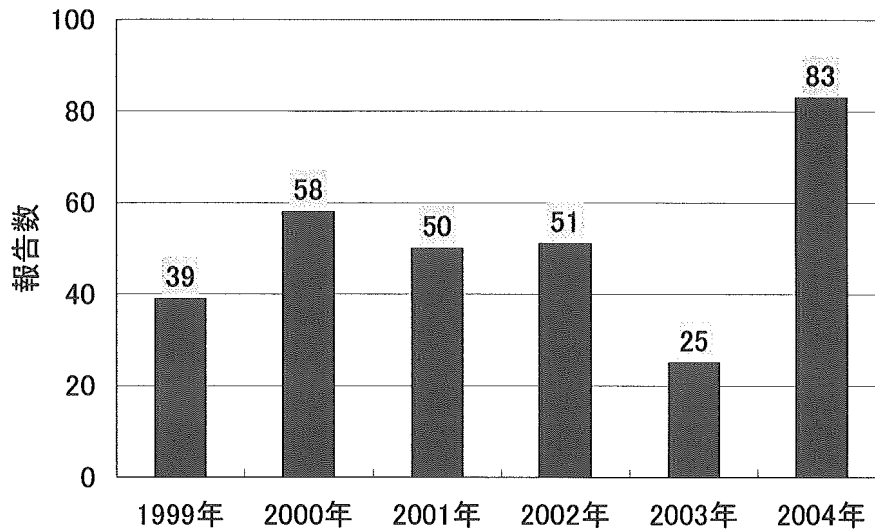


図-11 コレラ患者数の経年変化

⑩サルモネラ

(a)概要¹⁾

わが国におけるサルモネラの食中毒事例はここ数年間常に、腸炎ビブリオと一、ニを争う代表的食中毒原因菌である。サルモネラ食中毒は急性胃腸炎である。下痢は、1日数回から十数回で、一週間以上に及ぶ事もある。サルモネラの食中毒はカンピロバクターと同様大型の事例が多く、学校、福祉施設、病院で多発している。

(b)感染症報告数

感染症検出数の経時変化を図-12に示す。

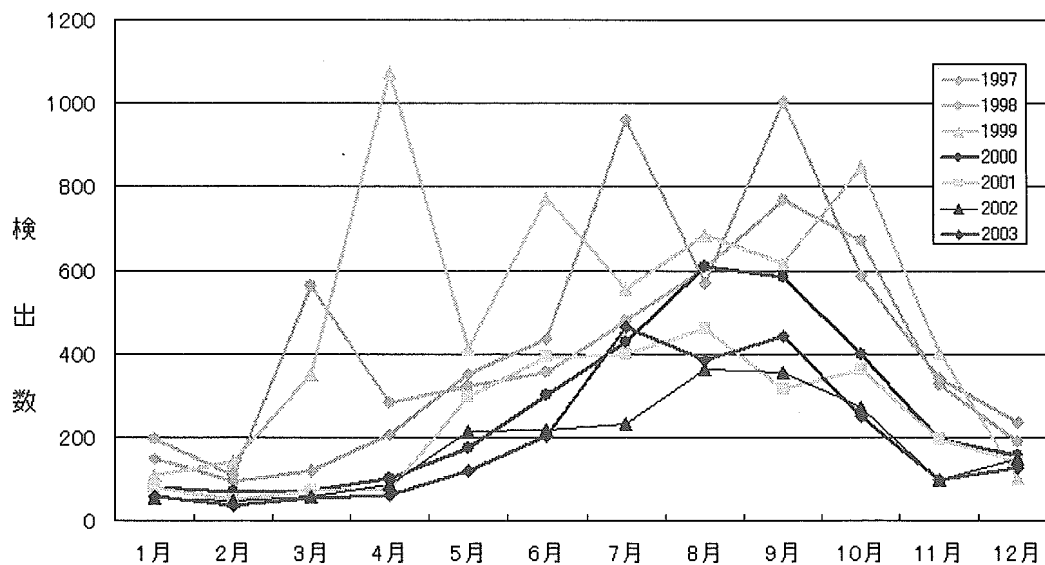


図-12 サルモネラ感染症検出数. 参考文献1)よりそのまま引用.

⑪腸炎ビブリオ

(a)概要¹⁾

1950年10月、大阪南部で発生した“シラス干し”による患者272名、死者20名の大規模食中毒の原因菌として、腸炎ビブリオが初めて分離された。腸炎ビブリオによる食中毒の原因食品はほとんどが魚介類である。現在でも、8月を発生のピークとして、7～9月に多発する細菌性食中毒の主要原因菌の一つである。以前に国内で主流であった菌型から新しい菌型への変化が見られ、1998年をピークに急増したが、ここ数年はまた減少してきている。

(b)感染症報告数

感染症検出数の経時変化を図-13に示す。

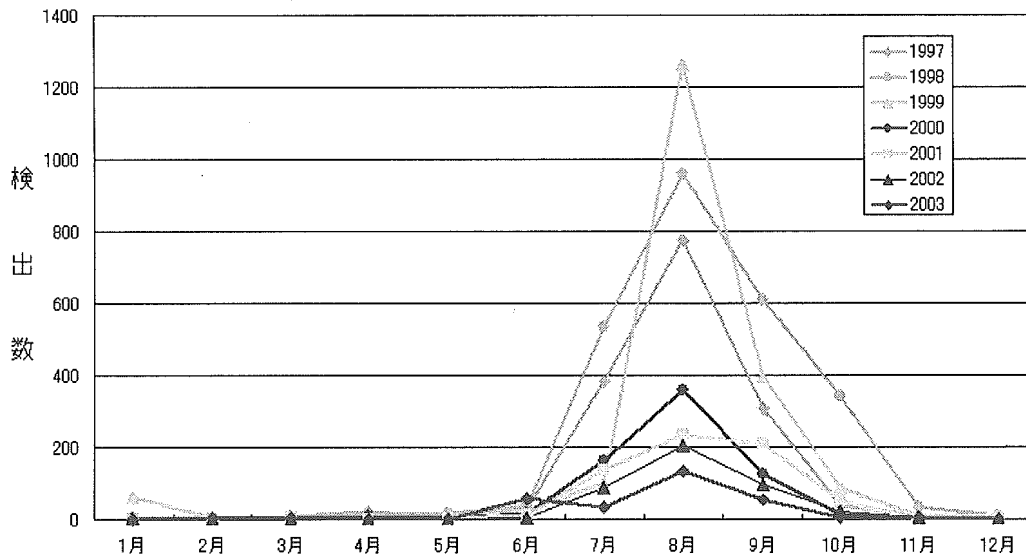


図-13 腸炎ビブリオ感染症検出数. 参考文献1)よりそのまま引用.

⑫黄色ブドウ球菌

(a)概要¹⁾

黄色ブドウ球菌は、ヒトを取り巻く環境や各種の哺乳動物、鳥類等に広く分布している。特に、健康者の鼻、咽頭、腸管等に分布し、健康者の本菌保有率は20～30%であるとされている。激しい嘔気・嘔吐、痙攣性腹痛、下痢を伴う急激な急性胃腸炎症状を発する。1984年までは年間200事例以上の発生がみられていたが、1985年以降経年的に漸次減少し、1985年には163事例、1991年には95事例、1995年には60事例となり、年間の事例数は減少している。ブドウ球菌食中毒の全食中毒事例に占める割合は、1984年以前は25～35%であったが、1985年以降25%以下となり漸次減少傾向を示し、1995年には約10%、1997年には3%まで減少した。しかし、2000年に大規模発生した雪印ブドウ球菌食中毒事件のように、多くの感染者をだす場合もある。

(b)感染症報告数

感染症検出数の経時変化を図-14に示す。

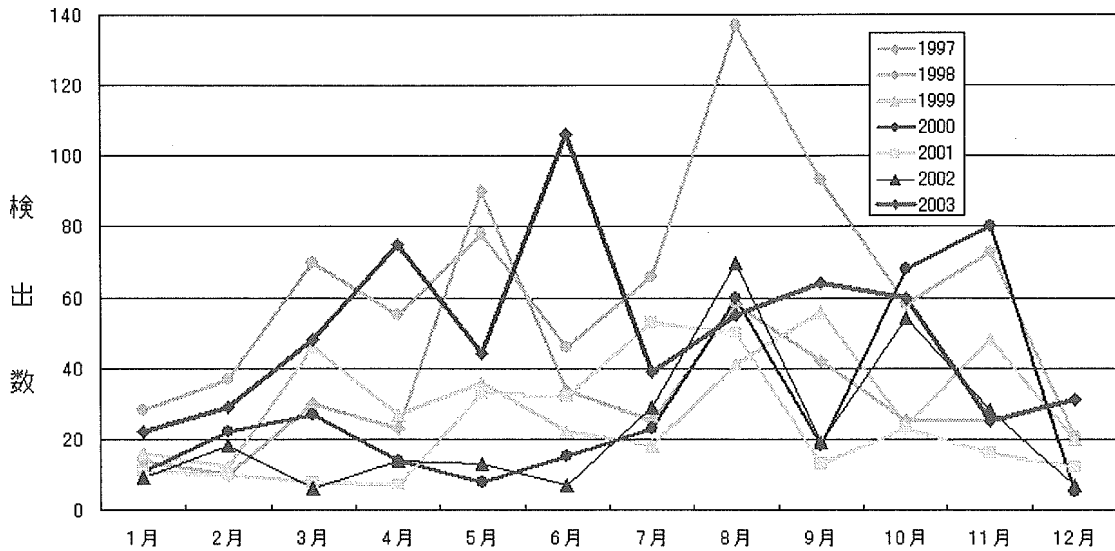


図-14 黄色ブドウ球菌発症例検出数. 参考文献1)よりそのまま引用.

⑬ウェルシュ菌

(a)概要¹⁾

ウェルシュ菌(*Clostridium perfringens*)は、ヒトや動物の大腸内常在菌であり、下水、河川、海、耕地などの土壌に広く分布している。主要症状は腹痛と下痢である。下痢回数は1日1~3回程度のもが多く、主に水様便と軟便である。腹部膨満感がある場合もあるが、嘔吐や発熱などの症状はきわめて少なく、症状は一般的に軽く1~2日で回復する。わが国におけるウェルシュ菌食中毒事件数は年間9~27件(平均22件)程度でそれほど多くはない。しかし、1事件当たりの患者数は103.2名で他の細菌性食中毒に比べて圧倒的に多く、大規模事例が多い。

(b)感染症報告数

感染症検出数の経時変化を図-15に示す。

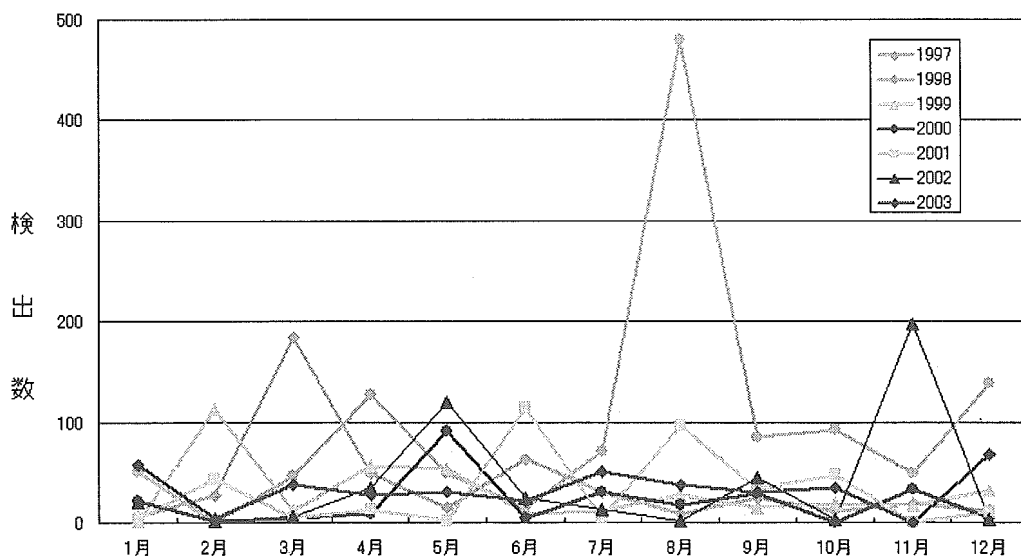


図-15 ウェルシュ菌発症例検出数. 参考文献1)よりそのまま引用.

⑭セレウス菌

(a)概要¹⁾

セレウス菌感染症は4類感染症定点把握疾患の感染性胃腸炎の中に含まれる。ほとんど食中毒の形をとり、嘔吐型と下痢型がある。わが国におけるセレウス菌食中毒は嘔吐型がほとんどであるが、その発生数や患者数はそれ程多いものではない。1983年から1999年までの17年間に発生した食中毒総数19,937事例のうち、セレウス菌食中毒は201事例、患者数7,697名で、いずれも1%程度を占めるにすぎない。また、その発生規模も1事例当たりの患者数が10名前後の小規模発生がほとんどであるが、時に患者数100名を超える大規模な事例もみられる。大規模食中毒事例としては、学校や事業所での事例が多く、患者数1,800名を超える事例までみられている。時期的には、他の細菌性食中毒と同様、夏期に多く発生している。

(b)感染症報告数

感染症検出数の経時変化を図-16に示す。

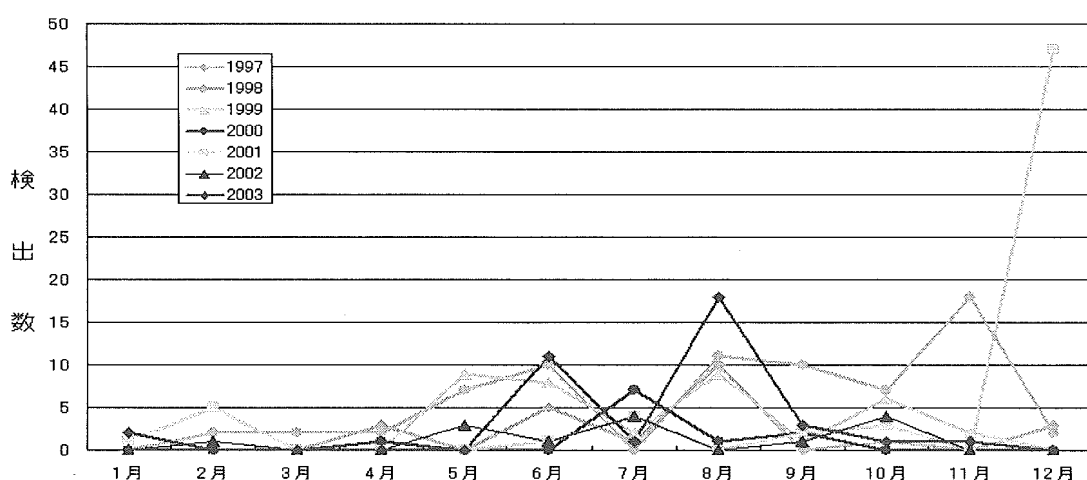


図-16 セレウス菌発症検出数. 参考文献1)よりそのまま引用.

(1-2)各疾病の比較とDALYを用いた重み付け

以上みてきたように、日本には様々な感染症が存在していることがわかる。ここでこれらの感染症の報告数・患者数の経年変化をまとめたものを図-17に示す。図は報告数・患者数の対数値を縦軸、横軸に年度をとったものである(腸炎ビブリオ、ブドウ球菌、サルモネラ、カンピロバクター、赤痢菌、ノロウイルス、ロタウイルスは患者数、クリプトスポリジウム、ジアルジア、チフス、腸管性出血大腸菌、レジオネラ、コレラは報告数)。

図より、クリプトスポリジウム、ジアルジアなどの報告数自体はそれほど多くはないことがわかる。一方、食中毒由来であると思われる腸炎ビブリオ、ブドウ球菌、サルモネラ、腸管性出血大腸菌、カンピロバクターなどは多く報告されている。また、ノロウイルス、ロタウイルスなどのウイルスの報告も多く見られる。

次に縦軸に水系感染症の患者数の人数を整理したものを図-18に示す。最近水系由来の感染症はあまり見られていない。クリプトスポリジウムは1994年に神奈川県平塚市の雑居ビル、1996年の埼玉県入間郡越生町で町営水道水を汚染源とする集団感染が発生して以来患者は出ていない。レジオネラは入浴施設などにおいて発生している。カンピロバクター、ノロウイルスは小規模水道や湧き水、井戸水などを経由したものが確認されている。

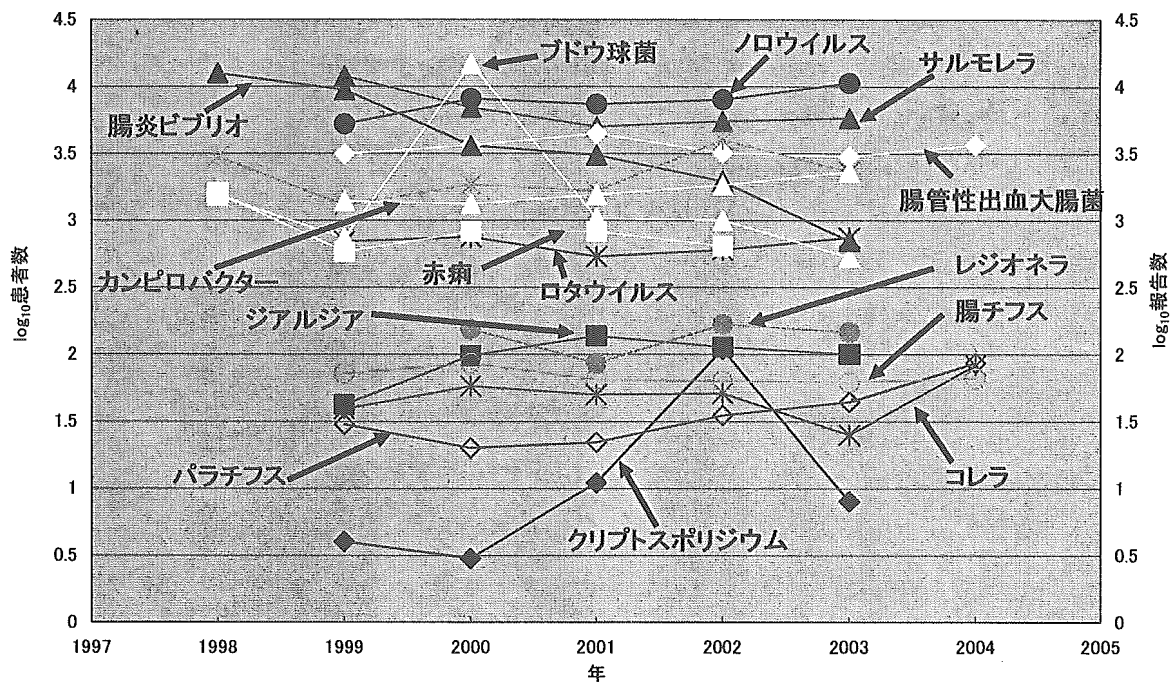


図-17 各疾病の報告数・患者数の比較

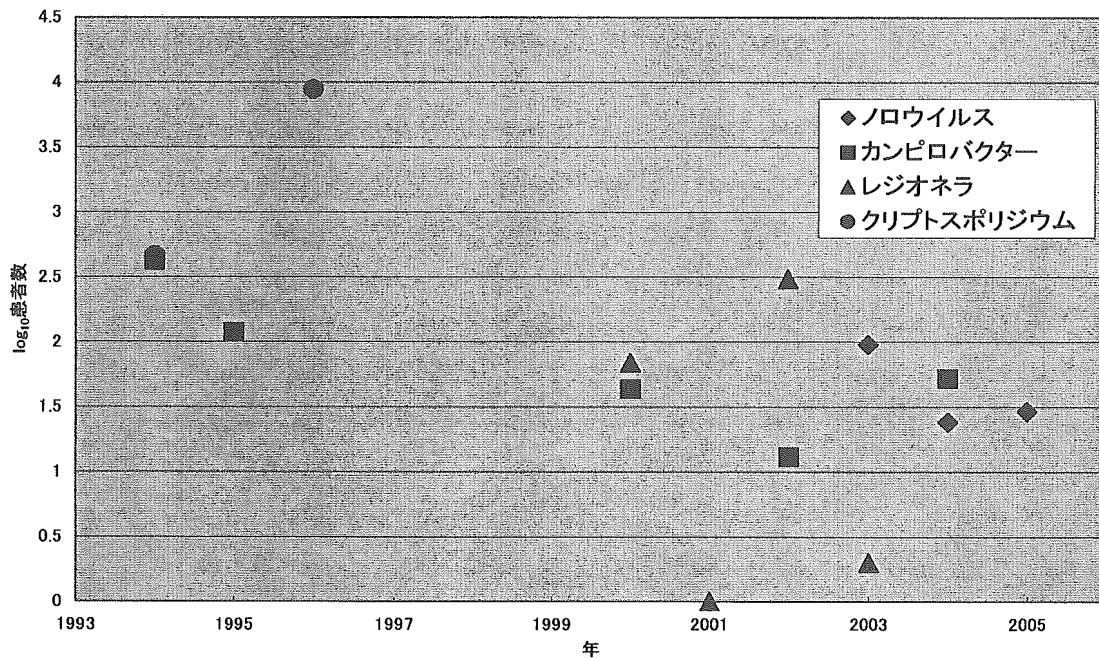


図-18 水系由来感染症の比較

次に DALY 値を用いて重み付けを行った結果を図-19に示す。現在入手できるDALY値³⁾を表-2に示す。表の値は1000件あたりのそれぞれのDALY値である。ロタウイルス、A型肝炎に関してはそれぞれ上段が先進国、下段が発展途上国の値である。これらの情報ではまだまだ不十分であるが、更なるデータの収集

を今度の課題としたい。現在わかっている DALY 値とそれぞれの患者数，報告数をかけあわせたものを図-19に示す。

表-2 現在入手できているDALY値

	DALY 値
クリプトスポリジウム	1.47 年/1000cases
カンピロバクター	4.6 年/1000cases
O-157	54.7 年/1000cases
ロタウイルス	14 年/1000cases
A 型肝炎	482 年/1000cases
	255 年/1000cases
臭素酸塩	77 年/1000cases
ヒ素	10900 年/1000cases
	54000 年/1000cases

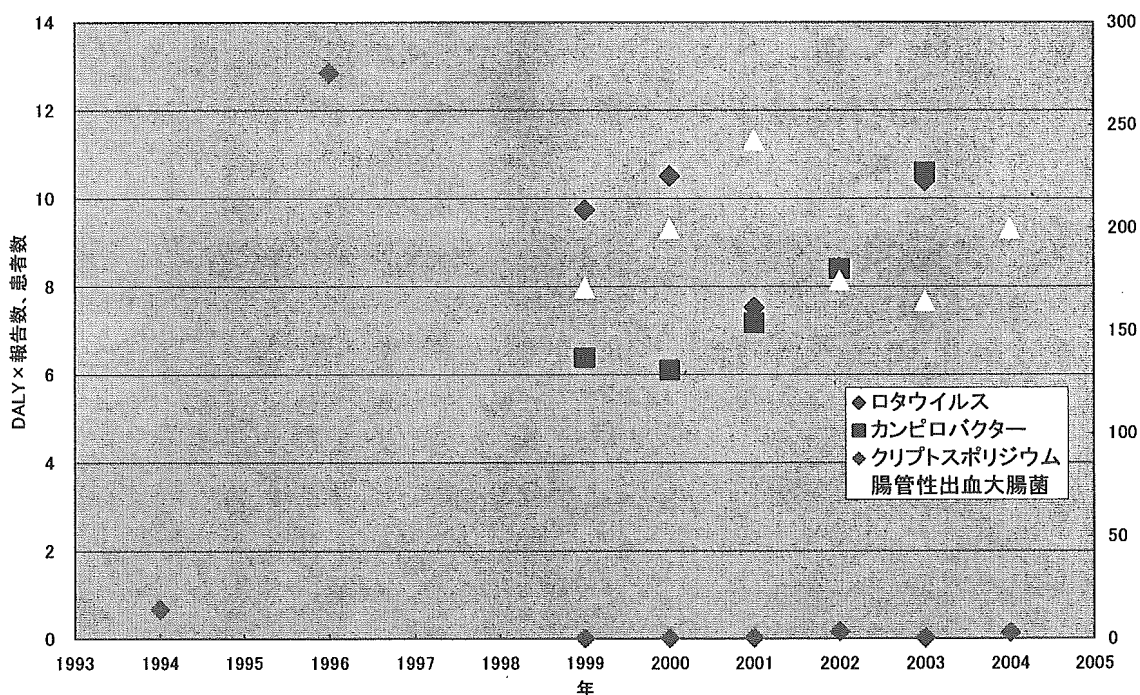


図-19 DALY値で重み付けした報告数・患者数

図では腸管性大腸菌について右軸，ロタウイルス，カンピロバクター，クリプトスポリジウムは左軸を参照されたい。容易にわかるように，腸管性大腸菌の値が非常に大きくなっている。これは，腸管性大腸菌の DALY 値が他と比べて非常に大きくなっていることによる。しかし，サルモネラやノロウイルスなどの DALY がまだ把握できていないことから，どの感染症に注目するかについてはもう少し議論を必要とすると思われる。

(2) 原水水質 + 処理系 + 消毒系 + 配水池 + 配水管網 + 給水系におけるリスクファクターの同定と要素モデルに関する文献調査

- モンテカルロシミュレーションを用いた健康リスクの確率的評価を行うためのモデルを構築するうえで必要な、各要素について、文献検索により、モデルの調査を実施した。

(2-1) リスク評価に関わる事項

Riceら⁴⁾は現状の CRFM(Comparative Risk Framework Methodology)について次のように整理している:

1. 現在の状況进行评估する。
2. 潜在的な健康影響や量的リスクを決める。
3. 注目する人間の健康状態を定義する。
4. 健康状態が異なったものを比較するための共通の基準を開発する。
5. 最後に費用対効果の分析を行う。

Havalaar ら⁵⁾はDALYの有効性について述べられており、DALY値の推測については、それぞれの病気の発生率、病気の継続期間、病気の重篤さなどのさまざまな情報が必要であるとしている。DALY 値を構成するLYL(ある疾病が原因による早期死亡による健康の損失)とYLD(ある疾病が原因による障害の程度・持続が何年分の余命の損失)の推定について、

- LYLを推定するためには、平均寿命からどれくらいの期間を失ったのかを考慮する必要があること
- LYDを推定するためには、患者数、病気の継続期間、病気の重篤さをかけあわせる必要があることを示している。また、DALYの応用例として、飲料水の健康効果(クリプトスポリジウムと臭素酸による健康比較など)を評価するために用いた例を紹介している。

また、Havalaar ら⁶⁾は、DALY値の適用性の検討において、飲料水の消毒を例にとっている。研究では水をオゾン処理することによって臭素酸塩の生産に起因する腎臓細胞ガンの危険性の増加と、クリプトスポリジウムに感染する危険性の減少のレベルの比較を行っている。クリプトスポリジウムへの感染の平均の危険性は 10^{-3} /person-yearと推定され、一方、オゾン処理によって臭素酸塩は現在のガイドラインレベルより高濃度で生産されることを示している。しかし、一般の人々の胃腸炎や後天性免疫不全症候群患者の早死を防ぐ利点は、腎臓細胞ガンによる健康損失の10倍以上であることも示している。実際には、他のリスクアセスメントでも見られるように、DALYsの適用は相当の不確実性な要素を含むが、クリプトスポリジウム感染リスクと腎臓ガンという全く異なる二つの疾病のリスクを比較することが可能となったとしている。

Hein⁷⁾らはオランダの事例を報告している。すなわち、オランダでは水道水の味や臭いに対して高い認識があるため、飲料水は消毒剤の残留効果が非常に低い状態かもしくはゼロの状態に配られている。消毒剤の残留効果がなくなるということは、異物の混入による微生物の再増殖などの可能性が出てくる。水を取水してから各家庭に配られるまで様々なリスクが考えられる。重要なのは原水汚染であり、家畜の存在、下水処理場の存在によって原水水質が大きく変わることになる。また、浄水場では災害などによる故障や設計値を超える変動が考えられる。配水管網などでは事故などによる汚染が考えられる。しかし、通常の状態では現在ほとんど問題は起きておらず、人為的ミスに注意することが一番大切としている。

(2-2) 浄水システム、配水、給水システム

Boccelli DL ら⁸⁾は 残留塩素の消費とTHM生成の関係について検討し、次の事を示している:

- 典型的な配水システムモデルでは、水マトリックスの範囲内で消毒剤の損失は塩素濃度に関する一次反応で表現されきたが、最近では、比較的単純な2次反応のモデルが研究されている

- 特に、ブースター塩素化や配水システム交差点ノードで混ざることによって引き起こされる不連続の再塩素化を説明するためにも、2次反応モデルが必要である
- 2次反応モデルは、1回投入や消毒剤の再投入のような状況においても一次モデルと同様かそれ以上に現象を表現することができる

以上の結果は、5つの異なる自然水の実験によって確かめられている。特に、2次反応モデルがいくつかの塩素再注入系において、現象をうまく説明できることを確認している。THM 生成と塩素消費の間に線形関係が成立していることが観察ならびに、2次反応モデルからの塩素消費推算とによって確認され TTHM 生成を表現することが可能となった。

Legube ら⁹⁾は、オゾン処理における臭素酸塩生成に関するモデルを提案しており、次のような結果を得ている：

- 臭素酸塩生成は直接 ct 値に正比例する。
- また、臭素酸塩生成は pH, 温度, 臭化物濃度, アンモニア, DOC などの多くのパラメータに依存する。
- 3つの異なる場所における砂ろ過水を用いた 40 の実験から確率論的なシミュレーション(多重線型減衰と人工のニューラルネットワーク方法)によって臭素酸塩構造を予測することが可能である。人工のニューラルネットワークによる臭素酸塩モデリングが多重線型減衰より良い結果に与える。

Sohn ら¹⁰⁾は塩素消毒とオゾン消毒の二つの場合の消毒副生成物のモデルを吟味している：

- 溶解性有機物と他のパラメータに基づいた経験的な指数関数モデルは、トリハロメタン (THM) とハロ酢酸 (HAA) の予測が可能であった。
- 運動モデルは塩素消費と THM/HAA 構造の間に良い予測を示したが、経験的な指数関数モデルシミュレーションと比較して、大きな改善は見られない。
- オゾンの不活性化と臭素酸塩(オゾン化消毒副産物)生成を予測する経験的なモデルの評価と改良を行い、二段階反応モデルがオゾン消費の記述に適している
- しかし、経験的な指数関数モデルによるシミュレーション結果と比較して臭素酸塩生成の予測に大きな改善は見られない。

Gagnon ら¹¹⁾はバイオフィーム制御のために次亜塩素酸塩イオン (ClO_2^-) と二酸化塩素 (ClO_2) の相対的な効率について比較を行った結果を報告している。実験では、ポリカーボネートと鋳鉄クーポンをもちいた、環状のリアクターが用いられ、4週間の順応期間後に二段階の次亜塩素酸塩濃度 (0.25mg/l, 0.1mg/l), 二酸化塩素濃度 (0.5mg/l, 0.25mg/l) での消毒剤の投入を行った。その結果：

- 低濃度レベルの次亜塩素酸塩の存在が従属栄養細菌を減らすことに対して効果的ではない。
- 次亜塩素酸塩ではクーポン表面の従属栄養細菌の Log reductions は、0.20 と 0.34 の間であった。
- 一方、二酸化塩素はの場合では、従属栄養細菌の log reduction の値が 0.52 から 1.36 となった。
- また、浮遊性の従属栄養細菌に対する最も大きな Log reductions は鋳鉄またはポリカーボネートクーポン (1.77 と 1.55) で ClO_2 を高投入の時であった。
- これらのデータは、微生物の再増殖の制御のために配水システムで二酸化塩素残留の濃度を維持することが必要であることを示した。

Dukan ら¹²⁾は、配水システムで採取される水サンプル中で観察される大部分のバクテリア増殖はこれらの微生物のパイプからの脱着が原因であるとした上で、配水システムにおける微生物の挙動を記述するモデルを提案している。モデルにより、BDOC, 温度, 残留塩素, pH と各々のパイプの水圧条件と微生物増殖の関

係が検討できることになる。また、モデルにより、塩素を用いない場合の、配水システム内微生物コントロールについて、温度とBDOCの影響を明らかにしている。

Munavalli¹³⁾は、配水システム中でのバクテリアの再増殖を表現するモデルとしてマルチコンポーネント反応輸送モデルを提案している。このモデルは、微生物増殖の現象は有機物と消毒剤の塩素との関係によって支配されることを前提に、大きな流れとパイプ壁での基本プロセス(例えば微生物増殖と不活化、パイプからの吸着と脱着、基質利用、消毒)について簡略化された式を利用している。このモデルにより、残留塩素が低下する場所や微生物の増殖が起こるような場所を推定できるとしている。

加えて、Munavalli¹⁴⁾は、モデルの精度を上げるために、現地観測結果をモデルのキャリブレーションに使用するためのツールも提案している。

Liuら¹⁵⁾は、代表的な水処理施設と配水システムにおいて、AOC濃度の変化を調査し、次の結論を得ている：

- 水処理施設における浄水や配水システム中水について、AOCは50-100mg/Lの生物安定基準を満たすことができなかった。
- AOC濃度が100mg/L未満であったのは全体の4%であった。50%値は200mg/L弱であった。
- 浄水のAOC濃度と原水水質には相関がみられた。
- 配水システム中のAOC濃度の変化は、塩素濃度と微生物活動に影響を受け、塩素による酸化はAOC値を増加させ、微生物活動はAOC値を減少させた。
- AOC濃度の変化は、異なる配水システムまたは異なる季節によってそれぞれ異なるパターンを示した。
- AOCの30%以下は従来の処理過程で取り除くことができ、30-60%のAOC(最高で50-60%)は粒状活性炭(GAC)によって処理できた。

Kerneisら¹⁶⁾は滞留時間と配水ネットワーク中の(HPC)細菌の密度、生物分解可能な溶解性有機物(BDOC)と消毒剤の残留の関係を分析した。これらの結果は微生物が存在している水質の貯水池やパイプ中での滞留時間によって異なる影響を示し、パイプ中内の水の移動はHPC細菌の密度にほとんど影響がないが、長い滞留時間を持つ配水池は、HPC細菌の密度に重要な影響を及ぼすことを示した。

(2-3)災害に関連する情報収集

Hein⁷⁾らのオランダの事例では、(1)原水汚染、(2)災害などによる故障、(3)設計値を超える変動が重要であると指摘している。また、本研究では長期間にわたるシミュレーションを実施する予定であることから、災害に関する資料の収集も実施した。表-3に日本における地震の規模別発生回数、表-4に火災の発生件数を示す。地震は施設の故障に関連し、火災は配水管網内の水圧分布に関連する。

表-3 1950~2005年 過去地震データベース 気象庁

震度	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	7	総計
回数	48715	20019	6239	1372	164	31	23	4	2	76569

表-4 火災の発生件数(総務省消防庁による)

	平成 14 年度	平成 15 年度	平成 16 年度
建物火災	34,171	32,534	33,325
林野火災	3,343	1,810	2,592
車両火災	7,785	7,366	7,077
船舶火災	113	3	132
航空機火災	4	-	10
その他	18,235	14,484	14,484
総数	63,651	56,333	60,387

参考文献

- 1) 国立感染症研究所 <http://www.nih.go.jp/niid/>
- 2) 森 亨(1994)日本の主要疾患における DALY(障害調整生命年)の意義
- 3) A.H. Havelaar, J.M. Melse (2003) Quantifying public risk in the WHO Guidelines for Drinking-Water Quality.
- 4) R. Rice, Murphy P.A., Teuschler L.K., Lipscomb J.C, Boutin B.K., Brown M.E., Clark R.M., Rheingans R.D., Cohen J. (2001): U.S.EPA's Comparative Risk Framework. In Microbial Pathogens and Disinfection By-Products in Drinking Water, (Ed: G.F.Craun, F.S. Hauchman, D.E. Robinson), pp.371-393, ILSI press (2001)
- 5) Havelaar A., de Hollander G., Teunis P., Evers E., Versteegh A. van Kranen H., Slob W. (2001): Probabilistic Risk Assessment Using Disability-Adjusted Life Years to Balance the Health Effects of Drinking Water Disinfection. In Microbial Pathogens and Disinfection By-Products in Drinking Water, (Ed:G.F.Craun, F.S. Hauchman, D.E. Robinson), pp.395-410, ILSI press, 2001.
- 6) Arie H. Havelaar, Augustinus E.M. De Hollander, Peter F.M. Teunis, Eric G. Evers, Henk J. Van Kranen, Johanna F.M. Versteegh, Joke E.M. Van Koten, and Wout Slob (2000): Balancing the Risks and Benefits of Drinking Water Disinfection : Disability Adjusted Life-Years on the Scale. Environment Health Perspect, Volume 108, Number 4, pp.315-321, April 2000
- 7) Hein J., van Lieverloo M., Medema G. and van der Kooij D. (2004): Risk Assessment and Risk Management of Faecal Contaminations in Drinking Water Distributed Without a Disinfectant Residual. Presented at the IWA Leading Edge Technology Conference in Prague, Czech Republic, June 2004.
- 8) Boccelli DL, Tryby ME, Uber JG, et al.(2003): A reactive species model for chlorine decay and THM formation under rechlorination conditions. WATER RESEARCH 37 (11): 2654-2666 JUN 2003
- 9) Legube B, Parinet B, Gelinet K, et al.(2004): Modeling of bromate formation by ozonation of surface waters in drinking water treatment. WATER RESEARCH 38 (8): 2185-2195 APR 2004.
- 10) Sohn J, Amy G, Cho JW, et al.(2004):Disinfectant decay and disinfection by-products

formation model development: chlorination and ozonation by-products. WATER RESEARCH 38 (10): 2461-2478 MAY 2004.

- 11) Gagnon GA, Rand JL, O'Leary KC, et al.(2005) :Disinfectant efficacy of chlorite and chlorine dioxide in drinking water biofilms. WATER RESEARCH 39 (9): 1809-1817 MAY 2005.
- 12) Dukan S, Levi Y, Piriou P, et al.(1996): Dynamic modelling of bacterial growth in drinking water networks. WATER RESEARCH 30 (9): 1991-2002 SEP 1996.
- 13) Munavalli GR, Kumar MSM (2004): Dynamic simulation of multicomponent reaction transport in water distribution systems. WATER RESEARCH 38 (8): 1971-1988 APR 2004.
- 14) Munavalli GR, Kumar MSM (2005): Water quality parameter estimation in a distribution system under dynamic state. WATER RESEARCH 39 (18): 4287-4298 NOV 2005.
- 15) Liu W, Wu H, Wang Z, et al.(2002):Investigation of assimilable organic carbon (AOC) and bacterial regrowth in drinking water distribution system. WATER RESEARCH 36 (4): 891-898 FEB 2002.
- 16) KERNEIS A, NAKACHE F, DEGUIN A, et al.(1995) : THE EFFECTS OF WATER RESIDENCE TIME ON THE BIOLOGICAL QUALITY IN A DISTRIBUTION NETWORK . WATER RESEARCH 29 (7): 1719-1727 JUL 1995.

謝辞:本報告は、本学大学院工学研究科修士課程2年野口友寛君によるところが大きい。記して謝意を表する。

D. 健康危険情報

(該当無し)

E. 研究発表

1. 論文発表

(該当無し)

2. 学会発表

(該当無し)

F. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし