

Waterborne Disease Cases in Developed Countries, by Yuko YAMAMOTO (Hokkai-Gakuen Univ.) and Toshiro YAMADA (National Institute of Public Health)

1. はじめに

安全な飲料水の確保がミレニアム開発目標の一つになっているにもかかわらず、世界中では11億人が安全な飲み水を確保できておらず、さらに途上国では毎年300万人が水系伝染病により死亡していると推定されている¹⁾。一方、日本を含む先進国では水道の普及により水系伝染病が劇的に減少したが、飲料水の汚染による健康被害事例が少なからず報告されており、報告されていないものも含めると実際の健康被害事例はさらに多いと予想される。これまで実際に起こった汚染事故事例を知ることは、今後の飲料水の危機管理を考える上で重要である。日本における水を介した健康被害事例については既に山田ら²⁾により報告されているため、本研究では海外の特に先進国を対象として、過去の汚染事例における原因と対策などの情報収集を行い、今後の日本における飲料水危機管理で考慮すべき事項について明らかにすることを目的とする。

2. 方法

アメリカ合衆国、EU諸国など海外の先進国における飲料水に起因する健康被害事例について、学術論文や報告書等の文献資料や各国政府機関のホームページ等から情報の収集を行った。

3. 結果および考察

アメリカ合衆国は疾病対策予防センター (CDC) 等が中心となり飲料水に起因する健康被害事例の情報を収集するシステムが整備されているため、比較的多くの情報が得られる。1995~2004年までの10年間にアメリカ合衆国で発生した飲料水に起因する事故事例の発生件数および患者数をそれぞれ図1、図2に示す。発生件数は少ない年で6件(1996年)、多い年で24件(2000年)であったが、表立って報告されない事例が背後に多数あると考えられ、実際の発生件数はこれよりかなり多いことが予想される。年により違いはあるが、それぞれの原因物質についてはほぼ毎年健康被害が発生している。事例一件あたりの患者数は、化学物質については数名から数十名程度と比較的少ないのに対し、細菌、原虫、ウィルスは数百から数千と多く、1400人以上もの患者が発生した事例が3例有る(1995年ジアルジア:処理の不備, 1998年クリプトスポリジウム:処理の不備, 2004年カンピロバクター・ノロウィルス・ジアルジア複合:水源の汚染・給水システムの不備)。地域の水道において汚染された水源を用いてかつ処理

や給水設備に不備があった場合、被害が非常に大きくなる傾向がある。

化学物質の一部を除き、症状のほとんどは胃腸炎であったが、2001年よりレジオネラ菌による急性呼吸器障害が数件報告されており、2004年には死者が4名も報告されていることから、今後飲料水経由でのレジオネラ菌の健康被害にも注意を払う必要があると考えられる。

参考文献

- 1) Hutton G, Haller L. (2004) Evaluation of the costs and benefits of water and sanitation improvements at the global level, World Health Organization, 87pp.
- 2) 山田俊郎, 秋葉道宏 (2007) 最近10年間の水を介した健康被害事例, 保健医療科学, Vol. 56, No. 1, 16-23.

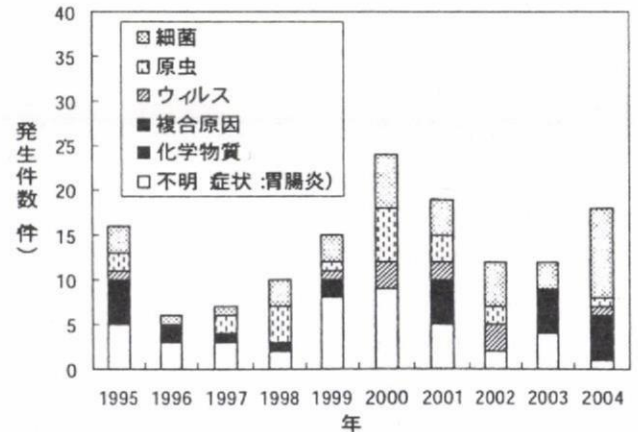


図1. アメリカ合衆国における飲料水に起因する健康被害の事例件数。(複合原因は細菌・原虫・ウィルスの複合。)

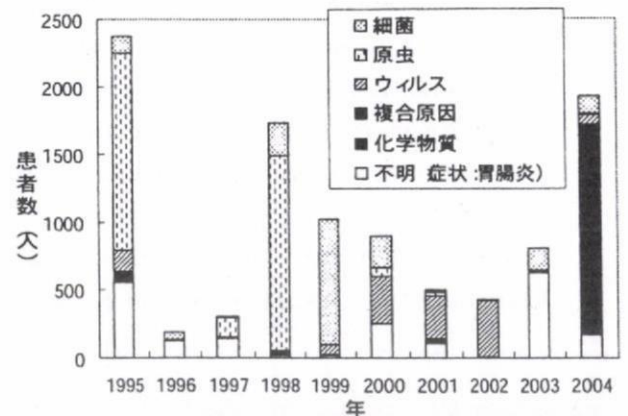


図2. アメリカ合衆国における飲料水に起因する健康被害の患者数。(複合原因は細菌・原虫・ウィルスの複合。)

(8-47) 塩素反応試料における挙動解析と生理作用への影響評価の重要性

○田原麻衣子(国立医薬品食品衛生研究所) 田中 美穂(東京医薬専門学校)
 久保田領志(国立医薬品食品衛生研究所) 中澤 裕之(星薬科大学)
 徳永 裕司(国立医薬品食品衛生研究所) 西村 哲治(国立医薬品食品衛生研究所)

1. はじめに

チオノ型有機リン系農薬は、環境中や生体内でオキソン体へと変化し、その有害影響は、原体に比べて強くなる傾向があることが知られている。水質管理目標設定項目 102 農薬にあげられているピリダフェンチオンおよび検討対象農薬第 3 候補群にあげられているクロルピリホスメチルはチオノ型有機リン系農薬であるが、浄水工程の塩素処理による挙動や反応生成物の有害影響が十分に把握されていない。そこで、ピリダフェンチオンおよびクロルピリホスメチルについて、塩素曝露における挙動と、急性毒性の発現機序として知られているコリンエステラーゼ (ChE) 阻害活性により、反応生成物の生理作用への影響を検討した。

2. 実験

分析方法については、ガスクロマトグラフ/質量分析計 (GC/MS) および液体クロマトグラフ/質量分析計 (LC/MS) での条件の構築を行った。塩素処理は次亜塩素酸ナトリウムを用い、初期遊離塩素濃度 1 ppm で行った。固相抽出により濃縮後、GC/MS を用いて反応生成物を同定および定量した。ChE 活性は、7 mIU の ChE と試料を反応させた後、ヨウ化 5-メチル-2-テノイルチオコリン基質法を用い、405 nm における吸光度を測定した。本手法を用いて、塩素反応生成混合物の ChE 阻害活性を検討した。

3. 結果および考察

オキソン体標準品の ChE 活性の測定結果により、チオノ型有機リン系農薬であるクロルピリホス、ダイアジノン、イソキサチオンの浄水工程で生成するオキソン体は、ChE 阻害活性が強いことがわかった。ピリダフェンチオンおよびクロルピリホスメチルはこれら 3 種と同骨格 (図 1) を有することより、オキソン体は ChE 阻害が強いと示唆されたため、対象物質とした。

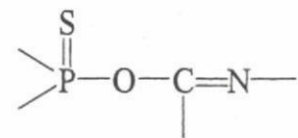


図1 共通構造

GC/MS および LC/MS を用いてそれぞれの分析法を構築した結果、クロルピリホスメチルにおいて、LC/MS ではピークが検出できなかったが、ピリダフェンチオンおよびクロルピリホスメチルの GC/MS に関しては、良好な分析結果が得られた (表 1)。

表1 GC/MSおよびLC/MSによる分析の検討結果

	ピリダフェンチオン		クロルピリホスメチル
	GC/MS	LC/MS	GC/MS
モニターイオン (m/z)	340	341 (Pos.)	286
検出限界値 ($\mu\text{g/L}$)	20	0.1	5
検量線範囲 ($\mu\text{g/L}$)	20-500	0.1-10	5-500
相関係数 (R^2)	0.9989	0.9983	0.9999

塩素処理による経時変化について検討を行ったところ、ピリダフェンチオンおよびクロルピリホスメチルともに原体は速やかに減少し、反応時間に伴って主生成物のピーク面積の増加が認められた。この主生成物はマススペクトルによりオキソン体と推定された。また、塩素反応の反応生成混合物の ChE 活性を測定した結果、原体と比較して、塩素反応時間に伴って ChE 阻害が増強された。

検討後にピリダフェンチオンのオキソン体が市販されたため、標準品を用いて検討した結果、ChE 阻害活性は非常に強かった (図 2)。この ChE 20%阻害濃度を他のオキソン体と比較した結果、強い阻害活性を示したクロルピリホス、ダイアジノン、イソキサチオンの 3 種と同等の値を示し、オキソン体の中でも強い ChE 阻害を示す農薬の一つであることが明らかとなった。同一の骨格が ChE 阻害に大きく影響することが懸念され、クロルピリホスメチルについても ChE 阻害の強いオキソン体となることが予測された。標準品が入手できないクロルピリホスメチルについては、高濃度溶液における塩素反応により分取を行った。その結果、反応生成物粗抽出試料において強い ChE 阻害がみられた。

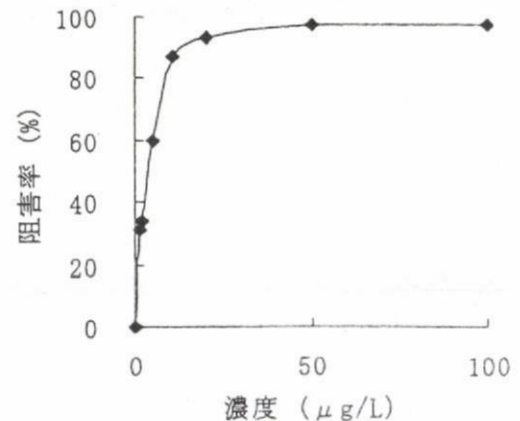


図2 ピリダフェンチオンオキシンの ChE 阻害活性

4. まとめ

ピリダフェンチオンおよびクロルピリホスメチルについては、良好な分析条件を確立することができた。また、浄水工程における塩素処理によりオキソン体へ変化し、クロルピリホス、ダイアジノン、イソキサチオンと同様に、ChE 阻害活性による有害影響が強くなることが明確となった。

塩素処理による挙動や反応生成物の有害影響が十分に把握されていない物質に関しては、分析法を確立し、生理作用に影響を及ぼすことが危惧されるものから優先性を上げて検討を行うことが重要であると示唆された。

T-2 水道水質管理におけるバイオアッセイの適用

有機リン系農薬のための水道水の安全性評価手法

国立医薬品食品衛生研究所・環境衛生化学部 ○西村 哲治

1. はじめに

水道水は、水質基準として設定されている51項目について、水道水質基準に適合していることの判断を行うために水質検査が実施されている。さらに、水質管理目標設定項目として農薬類としての1項目を含む27項目、要検討項目として40項目についても必要に応じ検査を行い、水道水の安全性を確保している。このような水道水の品質を保証するための水質検査に加え、水道原水の変動の把握や最良の浄水処理条件の設定など、工程管理の面からも水質の把握が求められている。一方、飲料水の健康危機の適正管理のために、迅速な評価と緊急時に対応することのできる手法の確立が必要となってきた。これらのための手法として、多くの試料を同時に、短時間で、かつ総括的に評価ができるバイオアッセイに有用性がある。

有機リン系化合物は、農薬として農業の生産性の向上に貢献してきただけでなく、我々の生活を支えるために様々な領域で使用されてきた。しかし、ヒトに対しても作用があり、本来の目的以外や人為的な行為のために使用される危険があるため対策を講じておく必要がある。

散布された有機リン系農薬は、水道原水とする環境水に流入し、環境中や浄水工程において塩素に曝露されることにより反応生成物を生じると考えられる。有機リン系農薬のチオノ型(P=S)は、浄水工程で塩素やオゾンによる酸化反応を受けてより有害影響の強いオキソン型(P=O)に変化し、ヒトへの主要な急性毒性であるコリンエステラーゼ(ChE)阻害作用が増強されることが懸念される。そのため、水道浄水処理でのオキソン体の生成挙動と健康への影響の把握は重要な課題である。しかし、水道水質基準の水質管理目標設定項目101農薬および検討対象農薬第2候補群、第3候補群のチオノ型有機リン系農薬のうち、標準品としてチオノ型原体およびそのオキソン体の両方が市販されている農薬は11種のみである(平成20年6月現在)。そこで、有機リン系農薬の24種について、オキソン体が市販されていない14種のチオノ型有機リン系農薬の塩素処理反応生成物と、オキソン体が入手可能な10種のChE活性に及ぼす影響をバイオアッセイにより評価した結果を紹介し、バイオアッセイの適用を考えてみる。

2. 方法

我々が確立した、簡便で、短時間に測定できる *in vitro* 法を用いて、急性毒性の指標であるChE活性を指標として評価した。ChEとヨウ化5-メチル-2-テノイルチオコリンを反応させるとチオコリンが遊離され、そのチオコリンが5, 5-ジチオビス(2-ニトロ安息香酸と反応した結果呈する黄色の発色を405 nmにおける吸光度で測定した。該当する標準標品または塩素反応液から固相カラムを用いて抽出・濃縮した試料を曝露することにより測定されるChE活性を、対照実験におけるChE活性の相対%で比較し、阻害率を算出した。

塩素反応は、農薬1 mg/L水溶液に、遊離塩素の初期濃度が1 mg/Lとなるよう次亜塩素酸ナ

トリウムを添加し、20℃の恒温槽中で反応させた。反応後、その塩素反応液にアスコルビン酸ナトリウムを添加して塩素を除去し、活性化した固相カートリッジ Oasis HLB Plus (Waters) に流速 10 mL/min で通水した。カートリッジを通気脱水後、吸着成分をジクロロメタンで抽出し、窒素ガス気流下で乾固直前まで濃縮を行った。試料は DMSO に溶解し、実験に供した。

3、結果と考察

14 種のチオノ型原体のうち 8 種においては ChE 阻害活性をほとんど示さなかったが、その他 6 種は原体のチオノ型 (P=S) の構造においても ChE 阻害活性を示した。ピリダフェンチオンおよび PAP は 10 mg/L の反応液濃度で約 50% の最大阻害が認められた。ピペロホス、ECP、アニコホスおよびクロルピリホスメチルの 4 種は、10 mg/L の反応液濃度でほぼ完全に ChE の活性を阻害した。

オキソン体標準品のない有機リン系農薬は、塩素反応後、固相カートリッジで抽出および濃縮した試料に含まれる塩素反応生成混合物の ChE 阻害活性を検討した。ピリダフェンチオン、ピリミホスメチル、クロルピリホスメチルおよびホキシムの 4 農薬は、塩素と速やかに反応し、塩素反応時間 5 分で ChE 阻害活性が 100% になった。このことから、塩素反応生成混合物において ChE 阻害活性が増強されたこれら 4 種の農薬は、塩素処理により有害リスクが高くなる農薬であることが示唆された。原体で阻害活性があり反応により阻害がさらに増強したピリダフェンチオン、クロルピリホスメチルおよびホキシムについては、原体と反応生成物両者の把握が必要であることが明らかとなった。原体に関して ChE 阻害活性は見られないが反応により阻害作用が新たにみられたピリミホスメチルについては原体よりもむしろ反応生成物の把握に重点を置く必要があると考えられる。ピリダフェンチオンは平成 19 年 2 月に失効になっているものの、浄水から検出する恐れがあり、現在 (平成 19 年 8 月) も水道水質基準の水質管理目標設定項目の 101 種農薬に含まれているため、4 つの中でも特に優先した評価が問われる。また、原体で ChE 阻害活性が見られ反応前後で ChE 阻害活性に大きな変化のなかった農薬、および阻害活性がみられず塩素反応後も ChE 阻害活性が認められなかった農薬は、原体の把握が優先する。このように、多種にわたる有機リン系農薬は、程度の差は認められるものの、同一の作用点に働き有害影響を及ぼすため、個々の農薬の把握だけではリスクを評価するには十分でなく、バイオアッセイによる評価をあわせて行うことが必要であると考えられる。

そこで、原体とオキソン体のリスク評価を、それぞれの原体における目標値と ChE20% 阻害濃度より比較した。ChE 活性は、阻害が強い農薬ほど濃度に対する活性変化が大きく、50% 阻害濃度では農薬ごとの差が小さいこと、阻害活性の低い農薬は 50% 阻害濃度が求められないこと、環境水中の実際の農薬存在濃度は低く、検討を行う上で実態に近い濃度で評価すること等の観点から、ChE 阻害の評価には 20% 阻害濃度を用いた。オキソン体標準品が市販されている 10 種の農薬は、塩素と反応することで、速やかに主生成物としてオキソン体に変化した。したがって、反応前である原体と生成物であるオキソン体の標準品を用いて ChE 活性を測定し、ChE 20% 阻害濃度をそれぞれ求めた。MPP に関しては、塩素反応の主反応は $MPP \rightarrow MPP$ スルホキシド $\rightarrow MPP$ オキソンスルホンとなるため、MPP の反応生成物は MPP オキソンスルホンとして

算出した。イソフェンホスを除く9種は原体からオキソン体に変化することで影響の増大が認められた。影響の増大率はクロルピリホスが最も高く、オキソン体は原体の約2300倍であった。その他、イソキサチオン、MPPおよびダイアジノンの作用も50倍以上であり、特に高に農薬であった。これらの結果は、浄水中の農薬を原体量のみで評価すると、より有害作用の強い塩素反応生成物の影響を評価していない恐れがある。現在、水道水の水質検査においてはオキソン体の標準品が入手できる農薬については、原体とオキソン体をあわせて評価することになっているが、作用点を同一にする影響については、総括的な評価法、すなわちバイオアッセイによる評価の適用も水質管理の観点から有効な手段の一つと考えられる。

表 有機リン系農薬の使用目的、ADI、ChE阻害率、相対リスク

Pesticide	Usage	ADI(mg/kg/day)	IC20(mg/L)	IC50(mg/L)	IC80(mg/L)	Hazard Factor*
P=O Dichlorvos (DDVP)	I	0.0033	0.048	0.13	0.44	17
Iprobenfos (IBP)	I	0.003	2.81	-	-	0
Acephate	I	0.88	-	-	-	-
Trichlorfon (DEP)	I	0.01	0.49	3.38	9.36	5
Edifenphos (EDDP)	G	0.0025	0.08	0.31	0.84	8
Fosetyl	G	0.03	0.3	-	-	25
Propaphos	I	0.0004	0.66	2.39	6.2	0
Fosthiazate	(f)	0.001	-	-	-	-
Monocrotophos	I	0.0006	0.48	2.89	-	0
CVMP	I	0.004	0.14	0.99	2.66	7
Methamidophos	I	0.004	0.17	3.62	9.38	6
P=S Isoxathion	I	0.003	0.6	-	-	1
Diazinon	I	0.002	1.9	-	-	0
Fenitrothion (MEP)	I	0.005	3.35	-	-	0
EPN	I	0.0023	-	-	-	-
Isofenphos	I	0.0005	3.65	-	-	0
Chlorpyrifos	I	0.01	2.52	-	-	1
Tolclofos-methyl	G	0.064	-	-	-	-
Butamifos	H	0.005	2.08	-	-	1
Fenthion (MPP)	I	0.0005	0.088	-	-	1
Prothiofos	I	0.0015	-	-	-	-
MPP-sulfoxide	-	0.0005	-	-	-	-
MPP-sulfone	-	0.0005	-	-	-	-
P=S-Oxon	-	-	-	-	-	-
Isoxathion Oxon	-	0.003	0.0013	0.0039	0.0073	577
Diazinon Oxon	-	0.002	0.0089	0.031	0.062	56
MEP Oxon	-	0.005	0.33	1.13	3.40	4
EPN Oxon	-	0.0023	0.14	0.38	1.07	4
Isofenphos Oxon	-	0.0005	-	-	-	-
Chlorpyrifos Oxon	-	0.01	0.0011	0.0027	0.0052	2273
Tolclofos-methyl Oxon	-	0.064	5.09	-	-	3
Butamifos Oxon	-	0.005	1.04	3.32	9.39	1
MPP Oxon	-	0.0005	-	-	-	-
MPP-sulfoxide Oxon	-	0.0005	0.0054	-	-	23
MPP-sulfone Oxon	-	0.0005	0.00032	0.0107	0.0194	391
Prothiofos Oxon	-	0.0015	0.13	0.39	0.79	3
P=S Pyridaphenthion	I	0.00085	0.54	-	-	0
Bensulide (SAP)	H	0.04	0.23	-	-	43
Methidathion (DMTP)	I	0.0015	-	-	-	-
Anilofos	H	0.001	0.38	3.3	-	1
Dimethoate	I	0.02	-	-	-	-
Malathion	I	0.02	-	-	-	-
Phenthoate (PAP)	I	0.0015	0.8	-	-	0
Disulfoton	I	0.0014	0.67	-	-	1
Piperophos	H	0.00036	0.11	1.5	-	1
CYAP	I	0.001	-	-	-	-
Pirimiphos-methyl	I	0.025	-	-	-	-
Dichlofention (ECP)	I	0.0025	-	-	-	-
Chlorpyrifos-methyl	I	0.01	0.9	4.02	7.8	3
Phoxim	I	0.0012	0.74	3.9	8.44	0
P=S-Oxon (Products mixture)	-	-	-	-	-	-
Pyridaphenthion	-	0.00085	8.0	19.7	33.7	-
SAP	-	0.04	-	-	-	-
DMTP	-	0.0015	-	-	-	-
Anilofos	-	0.001	56.8	-	-	-
Dimethoate	-	0.02	-	-	-	-
Malathion	-	0.02	26.3	-	-	-
PAP	-	0.0015	-	-	-	-
Disulfoton	-	0.0014	-	-	-	-
Piperophos	-	0.00036	-	-	-	-
CYAP	-	0.001	-	-	-	-
Pirimiphos-methyl	-	0.025	14.9	53.3	83.1	-
ECP	-	0.0025	35.9	-	-	-
Chlorpyrifos-methyl	-	0.01	1.95	13.5	25.5	-
Phoxim	-	0.0012	☆	☆	☆	-

I: Insecticide, G: Germicide, H: Herbicide
 *: ADI(mg/kg/day) 50(kg) x 1(day) x 0.1(10%) *100/2(L)/IC20 ☆: very strong inhibitory action with clude extr

4. まとめ

検討対象の有機リン系農薬の中で、塩素と速やかに反応し、反応生成混合物においてChE阻

害活性が増強された農薬に関しては、浄水工程における反応生成物による潜在的リスクが高いと考えられ、原体の影響に加えて反応生成物の評価が必要であると示唆された。使用実態に地域性や季節変動等の考慮すべき要因を有する農薬に対して、水道水の安全性を迅速に評価していくには、現在行われているように優先度の高い農薬から個別に実態を把握していかなければならないが、原体だけではなく処理過程で生成する多岐にわたる物質もあわせて把握することは難しい。そのためにも、エンドポイントを確定にした上で、潜在的なリスクを含めた数値化により測定対象物質の優先順位を設定し、個別の対象項目を明確にするとともに、総括的なバイオアッセイによる評価手法の導入が有効な手法と考えられる。ここでは、有機リン系農薬のChE阻害活性を指標とした手法を紹介し、有機リン系農薬だけではなく、広く使用されている有機リン系化合物を含めた影響を総合的に評価できる方法として示した。その他の化学物質に関しても、飲料水だけではなく一般環境水や排水を含めて、総括的影響評価の手法として、また緊急時対応のための影響評価手法としてバイオアッセイの適用を改めて考えていきたい。

参考文献

- 1) Tsuda, T, Kojima, M, Harada, H, Nakajima, A and Aoki, S. (1998) Pesticides and their oxidation products in water and fish from rivers flowing into Lake Biwa, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 60, 151-158.
- 2) Roy, S., Kumar, R., Roy, S. and Sharma C. B. (1996) Biodegradation of fenitrothion in soil, *Biomedical Chromatography*, 10, 60-64.
- 3) Amitai, G, Moorad, D., Adani, R. and Doctor, B. P. (1998) Inhibition of acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase by chlorpyrifos-oxon, *Biochemical Pharmacology*. 56, 293-299.
- 4) Onodeta, S., Ishikura, S., Kagawa, Y. and Tanaka, K. (1976) Chemical changes of some organic compounds in chlorinated water. I. Formation of the P=O Analogs from the P=S type of organophosphorus pesticides, *The Journal of Hygienic chemistry*, 22(4), 196-205. (in Japanese)
- 5) Jokanović, M. (2001) Biotransformation of organophosphorus compounds, *Toxicology*, 166, 139-160.
- 6) 厚生労働省ホームページ 水質基準の見直しにおける検討概要 農薬類の 101 項目の個別参考情報 <http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/dl/nouyaku.df>
- 7) Tahara, M., Kubota, R., Nakazawa, H., Tokunaga, H. and Nishimura, T. (2005) Use of cholinesterase activity as an indicator for the effects of combinations of organophosphorus pesticides in water from environmental sources, *Water Research*, 39, 5112-5118.
- 8) 厚生労働省ホームページ 水質基準の見直し等について (厚生科学審議会生活環境部会水質管理専門委員会報告) <http://www.mhlw.go.jp/shingi/2003/04/dl/s0428-4e.pdf>
- 9) Tahara, M., Kubota, R., Nakazawa, H., Tokunaga, H. and Nishimura, T. (2006) Analysis of active oxon forms of nine organophosphorus pesticides in water samples using gas chromatography with mass spectrometric detection, *Journal of Health Science*, 52(3), 313-319.
- 10) Tahara, M., Kubota, R., Nakazawa, H., Tokunaga, H. and Nishimura, T. (2007) The behavior and cholinesterase inhibitory activity of fenitrothion and its products by light and chlorination, *Journal of Water Supply Research and Technology -AQUA*, 57.3, 143-151.

水源汚染リスク管理のための流域汚染源解析の試みとその課題

鳥取大学工学部 ○増田貴則, 国立保健医療科学院 山田俊郎, 秋葉道宏
鳥取大学工学部 田中春樹

Detection of Pollution Sources in Drinking Water Catchments for Risk Management of Drinking Water Pollution and its Problems, by Takanori MASUDA(Tottori Univ.), Toshiro YAMADA, Michihiko AKIBA(National Institute of Public Health), Haruki TANAKA(Tottori Univ.)

1.はじめに

水系感染症の罹患数は大幅に減少し、わが国の水道普及率は97.3%(2007年3月31日現在)に達している。しかし、依然として飲料水に起因する感染事故は発生しており、近年ではクリプトスポリジウムなど耐塩素性病原微生物による水源汚染も生じている。

水道に起因する健康被害の防止のために WHO は水安全計画の考え方を提唱しており(飲料水質ガイドライン第3版 2004年)、リスク要因を重点的かつ総合的に管理する計画を立てることを水道事業者に求めている。また、厚生労働省は2004年に「水道ビジョン」を策定し、徹底した衛生管理を行えるような統合的な水質管理を実現することを目標として掲げている。その実現のために、各事業者等は統合的な水安全計画を策定し、水源から給水栓までのリスク管理を実行することが求められている。

しかしながら、水源流域のリスク要因情報が一元的に管理されていないことから、簡易水道やその他の小規模水道の事業者、管理者が自らリスク評価を行うことは、技術面、費用面ともに困難と思われる。

そこで、流域における水道水源の汚染要因情報を一元的に管理・解析する手段として地理情報システム(GIS)を用いることとし、一般に安価で利用可能な統計情報や地図情報を用いることで、水道水源汚染要因を抽出し、リスク解析を行う手法を開発中である¹⁾。ここでは、その過程で得られた成果と課題について紹介する。

2.水源汚染要因のデータソースの整理

過去の汚染事例、水源管理事例を参考に、水源の汚染要因をリストアップした。リストアップした汚染要因を表1に示す。し尿起因、畜産・動物起因、医療起因、レクリエーション起因、災害起因の5種類に類別している。

これらの汚染要因の情報源として利用可能な統計や地図情報を探し出し、GISにデータベース化することを前提とし、位置情報を含むか否か、GISに収録する際の手間はどうかといった観点から情報源についての情報を整理した。このとき、全国のどの地域を対象としてもその情報源を容易に入手することができ、同じ解析ツールを用いてGIS上で取り扱えるよう、一般に安価で利用可能な統計や地図情報のみを汚染要因の情報源として整理した。

表1. 水源汚染要因

要因種別	要因		
し尿起因	下水処理場	高度集約排水処理施設	高度集約排水処理施設
	し尿処理施設	コミュニティプラント	浄化槽
	CSO	し尿・糞尿汚濁元施設	
	汚水・汚泥中継施設	下水汚泥処理施設・コンポスト施設	汚泥系連環処理施設
畜産・動物起因	畜舎・畜産農家、畜産糞尿処理施設	畜舎糞尿還元施設	牧場
	動物園、サファリパーク	ペットショップ	野生動物
医療起因	病院	診療所	保健所・衛生検査所
	動物病院、獣医師・家庭保健衛生所	医療研究機関、病原微生物を扱う研究施設等	感染性廃棄物処理・処分施設
レクリエーション起因	キャンプ場	温泉	プール
災害要因	地滑り地域・地滑り危険地域	活断層	浸水危険地域

この過程で明らかになったことと課題を整理すると以下の通りである。

- ・ 牧場や家畜糞尿の散布がされている農地に関する情報ソースが乏しく、位置および面的広がりを特定することができない。
- ・ 浄化槽については、市町村単位の浄化槽人口を示すデータソースは存在するが、それ以上の空間精度を保証するデータはみつからなかった。詳細な位置を把握することは無理にしても、一般の人口データと同程度の空間精度での集計データが望まれる。
- ・ 家畜頭数に関する情報は農業集落単位で集計されており、空間精度は高い。しかしながら、最新の統計では、秘匿とされるケースが増えており、汚染要因を把握し漏らす可能性がある。

他方、水道水源の情報源としては、各都道府県で整備されている「水道地図」を用いることができるが、以下のような問題点が残されている。

- ・ 水道地図では、水源の位置、種類、給水区域等が地図上に示されている。しかし、それ以外の属性データは収録されておらず、また、水源にID番号が振られていないため、水源と給水区域の関係性など不明瞭なところが数多く見られる。このため、水道統計や簡易水道統計、水道台帳との照合もできない。

3.水源汚染解析機能の開発

地下水汚染の調査範囲や影響半径が500m~1km程度であると言われていることを鑑み、地下水を水源としている各水道水源より半径500m, 1kmの2段階で、GISの同心円解析(マルチバッファリング)機能を用い

て、汚染要因を抽出する機能を開発した。また、表流水・伏流水を水源とするものについては、GISのサーフェース解析機能およびネットワーク解析機能を用いて水源から上流に位置する汚染要因を抽出し、汚染要因から水源までの距離・流下過程を考慮してリスク解析する機能を開発中である。流域の汚染源管理の影響をリスクとして評価することで、汚染源と水道の統合的管理が可能になるものと考えている。

ところで、一般に、降雨に起因するノンポイント汚染流出の場合、降雨事象とからめて、その非定常性をモデル化することが求められる。一方、病原微生物による汚染の場合、不適切な污水处理や感染症、災害の発生に起因するため、面源、点源にかかわらず、すべての汚染現象を確率的な事象として適切にモデル化していく必要があると思われる。特に、牧場や農地からの病原微生物流出は降雨の影響も受けるため、非定常かつ確率的な現象としてモデル化することが求められる。各汚染事象の生起確率および非定常性をモデル化するに足る調査データを収集していくことが重要である。また、作成されたモデルの精度評価のため、実測値との比較を行う必要もあり、モデル適用地域での調査も必要と考えられる。

これに加えて、河川流下途中での農業用水や工業用水等としての河川水利用による流量減少の影響についても考慮する必要がある。特に、農地で利用される場合には、農地は汚染のノンポイントシンク、かつ、ノンポイントソースである。現象として複雑な上に、農業用排水の情報が不足しているため、現象を再現するモデル化が困難と思われる。一層の情報整備と研究が必要と思われる。

4. 汚染源抽出の適用例

鳥取県を対象に、水道地図と汚染要因情報のGISデータベース化を行い、汚染源解析システムの適用を行った。その結果、近傍に汚染要因を複数箇所以上もつ水源が同定され、その場所を地図上に表示することができた。要因抽出の結果を整理し、各水源が半径1km以内に汚染要因をいくつもつかをヒストグラムとして示したものを図1に示す。また、図2に汚染要因の数の内訳を要因種別に示したものを示す。半数以上の水源で、半径1km以内に汚染要因が3つ以上存在しており、し尿起因と災害起因が全汚染要因の7割を占めることが示されている。

これらの水源が常時汚染されるわけではないが、相対的にリスクの高い水源を同定することができることを示している。しかし、ここでは市町村単位で集計された浄化槽数を用いたため、ほぼ全ての水源の汚染要因として浄化槽が抽出されてしまった。また、現在開発中のため結果を示すことはできないが、牧場のように本来面源であるが情報が存在しないために点源として整備せざるを得ない汚染要因については、上流解析の際

に正しく検出されないといった問題点が生じている。汚染要因の空間精度を向上させることが重要である。

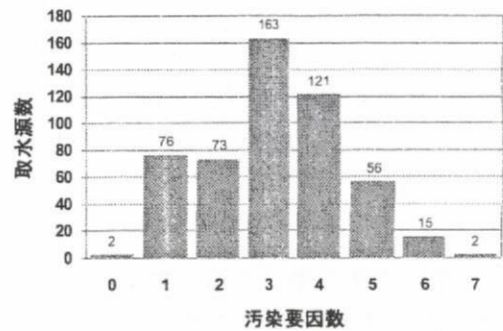


図1 取水源1km以内の汚染要因数

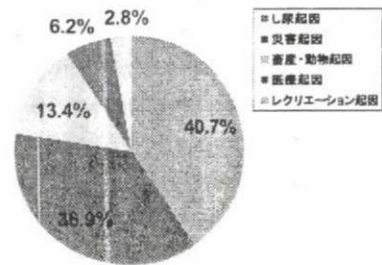


図2 汚染要因の種類

5. 今後の展望

本システムは、水道や飲料水供給施設の管理者が自らの水源の汚染要因を容易に把握することを目的として開発しているものである。一方で、都道府県や保健所など広域の行政・保健衛生担当者が自らの地域の汚染要因を把握し、地域間のリスク比較を行うことで相対的に脆弱な水源を同定し、保健衛生・防災行政に役立てることも想定している。今後は解析の手順をツール化し、担当者が容易に使える形での提供を考えていく必要がある。

また、本解析手法は他地域への適用が容易となるよう一般に利用可能な情報ソースを用いているが、自治体や流域によっては、本システムをベースに、より空間精度の高い情報に差し替えることで、詳細な解析を行うことも可能と考えられる。

なお、抽出された汚染要因の情報をどのように可視表現するかについては、現段階では十分に検討していない。今後はユーザーの立場から、どういった情報を表示することが望ましいのか検討を加える必要がある。

謝辞

本研究の一部は、平成19年度厚生労働科学研究費補助金「飲料水に係る健康危機の適正管理手法の開発に関する研究」により実施した。

参考文献

- 1) 秋葉道宏, 山田俊郎, 増田貴則: 地理情報システムを活用した飲料水危機管理手法の開発, 飲料水に係る健康危機の適正管理手法の開発に関する研究 平成19年度報告書

一般に利用可能な情報のみと GIS を用いた飲料原水の汚染リスク要因の抽出

鳥取大学工学部 正会員 増田貴則, 細井由彦
 国立保健医療科学院 正会員 山田俊郎, 秋葉道宏
 鳥取大学大学院工学研究科 学生会員 ○田中春樹

はじめに

厚生労働省は飲料水による健康被害の発生予防と拡大防止を図るため、平成9年に「飲料水健康危機管理実施要領」を策定し、水道水だけではなく水道法非適用の小規模水道水や飲用井戸水を原因とする健康危機事象を対象として、事故などがあった場合の対応等の措置を定めた。この実施要領に基づいて、飲用井戸や簡易水道における大腸菌やノロウイルスなどによる集団感染が報告されており、その報告件数、影響人口は多数に渡っていることから、適切な発生予防策を講じることが求められる。また、WHOにより、水道水に起因する健康被害の未然防止のために水安全計画の考え方が提唱されている。水安全計画の策定では、水源から給水栓までの水道システム全体を通して水道事業者がリスク要因を重点的かつ総合的に管理する計画を立てることが求められている。これらのことから、過去の健康危機事例を分析するとともに、水源流域のリスク要因について抽出・把握する必要があると思われるが、リスク要因情報が一元的に管理されていない現状では、水道事業者や小規模水道管理者自らがリスクを主体的に評価することは技術面・費用面で困難と思われる。

そこで本研究では、水道水源流域におけるリスク要因に関する情報を一元的に管理する手段として地理情報システム(GIS)を用いることとし、一般に利用可能な統計やデータベース、電話帳、地図データ等のみを情報源として、水道および小規模水道を対象とした病原微生物による飲料水汚染リスク要因を把握する手法を開発することとした。

研究方法

水道水源流域の汚染状況、汚染の発生源の情報について、特に病原微生物による原水汚染リスク要因(し尿起因、畜産・動物起因、医療起因、移動源起因、災害起因)の把握をGIS上で行う際に利用可能と考えられるデータベースや統計情報を収集・整理した。汎用的な利用、簡易な手続きで利用することを念頭に、全国規模で調査されており、かつ、一般に入手しやすいものを対象に整理を行った。さらにGISで活用する際の取込み方法についても整理し、取込んだ後のフィーチャー種類、属性値、元データの更新頻度等の情報を整理した。また、これらの情報を基にGISの解析機能を用いて病原微生物によるリスク要因の存在する水源を抽出し地図上に可視化する手法を開発した。

結果と考察

本研究では、鳥取県を対象に情報整備を行い、各水源の汚染リスク要因の抽出を行った。以下に結果を示す。

A. 鳥取県の水道の現況

鳥取県の総人口 616,805 人のうち給水人口は 599,735 人であり、水道普及率は 97.2%となっている。水道種別給水人口は、上水道 489,582 人(79.4%)、簡易水道 105,405 人(17.1%)、専用水道 4,748 人(0.8%)、飲料水供給施設 4,784 人(0.8%)、飲用井戸等 12,286 人(2.0%)となっている(鳥取県の水道の現況 2005)。簡易水道 213 施設(平成 16 年度末)のうち、給水人口が 500 人以下の施設数は 163 施設あり、専用水道や飲料水供給施設などの小規模水道が 160 ヶ所程度存在している。図 1 に鳥取県の水道と水源の種類についての分布図を示す。

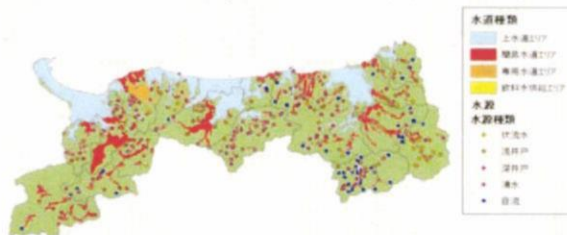


図 1 鳥取県の水道と水源の種類分布

キーワード: 水道, 地理情報システム, GIS, 飲料原水, 病原微生物, リスク評価

連絡先: 鳥取市湖山町南 4-101, TEL:0857-31-5318, FAX:0857-31-0882

B.汚染リスク要因の抽出・可視化

水源のリスク要因として下水処理場を対象とし、1km 以内の区域に下水処理場が存在する水源とその下水処理場の放流水の大腸菌群数(MPN/100ml)を地図上に図示したものを示す(図 2). 水源 508 か所うち 11 か所の水源が該当しており、鳥取県東部地域に放流水大腸菌群数が高い値を示す水源が集中していることが明らかとなった. また、該当した水源に対する下水処理場の放流水大腸菌群数を棒グラフで表示したものを示す(図 3). その結果、上水道水源が 4 か所、簡易水道水源が 5 か所、飲料水供給施設水源が 2 か所該当していることが明らかとなった.

つぎに、水源のリスク要因として農業集落排水処理施設を対象とし、同様に農業集落排水施設の処理人口をグラフ化したものを地図上に示し、水道種類別の農業集落排水施設の処理人口を棒グラフ化したものを図 4 と図 5 に示す. 水源から 1km 以内に農業集落排水処理施設が立地している水源は、合計 107 か所が該当しており、その大部分は農業集落施設の処理人口 1000 人以下となっているが、一部で 2000 人を超えるような水源があることを把握することができた. その他の事例として、畜産と病院を対象として分析した結果を示す(図 6,図 7). 畜産については乳用牛・肉用牛が飼育している頭数についてグラフ化し、病院は病床数についてグラフ化したものを地図上で示す.

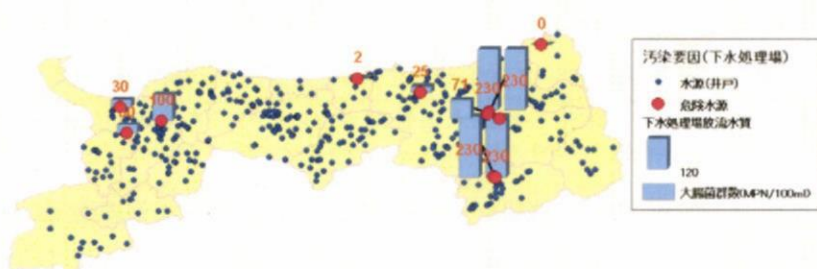


図 2 1km 以内に下水処理施設が存在する水源の分布

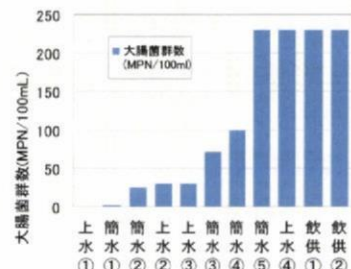


図 3 1km 以内の下水処理場の放流水水質



図 4 1km 以内に農業集落排水施設が存在する水源の分布

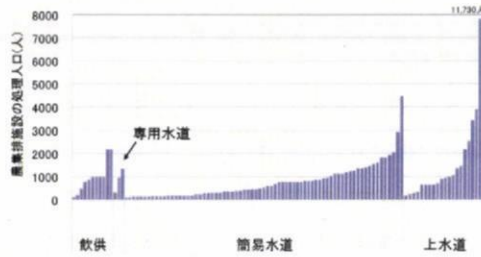


図 5 1km 以内の農業集落排水施設の処理人口

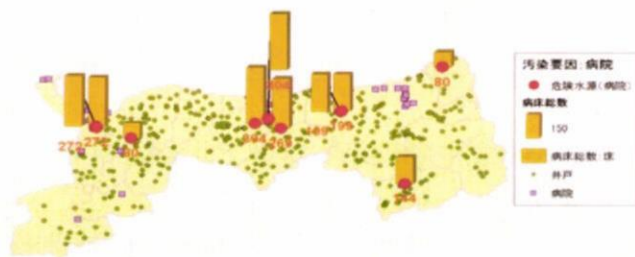


図 6 1km 以内に病院が存在する水源の分布



図 7 1km 以内に家畜(肉用牛・乳用牛)が存在する水源の分布

まとめと課題

一般に利用可能なデータのみを用いて GIS により汚染リスク要因を抽出・視覚化する手法を開発した. その結果、視覚的に県内の状況を把握し、水源ごとにさらされている汚染リスク要因の種類とその要因の大きさを明示的に示すことができた. また、地域間・水源間の汚染リスク要因を視覚的に比較することができた. 今後は、このシステムに飲料水健康危機データベースから抽出した事例を結合し、施設の周辺地域の汚染要因の可視化や情報抽出を行い、危機事例地域の状況を分析するとともに、他地域への適用の容易性、操作の簡便性を維持しつつ、原水汚染リスクを評価する手法を開発する予定である.

本研究の一部は、平成 19 年度厚生労働科学研究費補助金「飲料水に係る健康危機の適正管理手法の開発に関する研究」により実施した.

Health-related Incidents Attributable to Drinking Water Quality in Japan

Shoichi Kunikane¹, Toshiro Yamada², Michihiro Akiba², Mari Asami²,

Dai Shimazaki²

¹ Institute for Environmental Sciences, University of Shizuoka;

² Department of Water Supply Engineering, National Institute of Public Health

The outbreak of waterborne diseases caused by drinking water contamination occurs even in recent years in Japan although it has dramatically decreased according to the development of water supply systems all over the country. An outbreak of cryptosporidiosis in 1996, which affected 8,812 people, was one of the most serious incidents in Japan. This is the result of a study on health-related incidents caused by drinking water contamination in the last ten years of 1997 to 2006 in Japan based mainly on the information collected by the Ministry of Health, Labour and Welfare, Government of Japan.

There occurred twenty-eight health-related incidents with 2,341 cases caused by drinking water contamination in the last ten years in Japan; eighteen incidents (64%) in unregulated small water supply systems, seven incidents (25%) in private or tank-served systems, and three incidents (11%) in public water supply systems. Twenty-one incidents (75%) were caused by contamination with pathogens, while only two incidents (7%; one with sodium hypochlorite and the other one with dyphenyl arsenic acid) were caused by contamination with chemicals. The contaminants in the remaining five incidents (18%) were not identified.

The twenty-one incidents caused by contamination with pathogens affected 2,176 people (93.0%). Major etiological agents were enteropathogenic *E. coli* (7 incidents, 563 cases), *Norovirus* (4 incidents, 321 cases), *Campylobacter jejuni* (4 incidents, 229 cases), and *Shigella sonnei* (1 incident, 821 cases). In comparison, according to Hosaka (2006), eighty-four waterborne disease outbreaks occurred, affecting more than 30,000 people, caused by drinking water contamination with enteropathogenic *E. coli*, *Campylobacter*, *Shigella*, *Salmonella* and other agents in the former fifteen years of 1982 to 1996.

The source of etiological agents could not be identified in most incidents. Inadequate management of water supply facilities, such as the failure of disinfection facilities and the penetration of contaminated water into wells, was associated with many incidents. Insufficient disinfection, the breakdown of disinfection facilities, and low chlorine concentrations in drinking water were confirmed in fourteen incidents (50%), which affected 1,988 people (84.9%) in total. If disinfection was done properly, their occurrence may have been avoided. Disinfection of drinking water with chlorine is an obligation in public drinking water supply in Japan. In eight incidents (29%), it was reported that the source water was contaminated with sewage or the effluent of a household wastewater treatment facility. The protection and proper management of source water is also important. The cause of an incident in a municipal water supply system was cross-connection of a distribution pipe with another pipe not for drinking water.

Acknowledgement

This research was supported in part by a grant by the Ministry of Health, Labour and Welfare, Government of Japan.

Reference

Hosaka M. (2006) Incidents in drinking water supply and their backgrounds. *In: Measures against pathogenic microorganisms in drinking water supply*. Maruzen. Tokyo, Japan, 139-146 (*in Japanese*).