

以上の論述を踏まえ、GIS を活用したリスク評価手法全体の手続きの流れ、および GIS を活用する部分を整理したものを図 3 に示す。

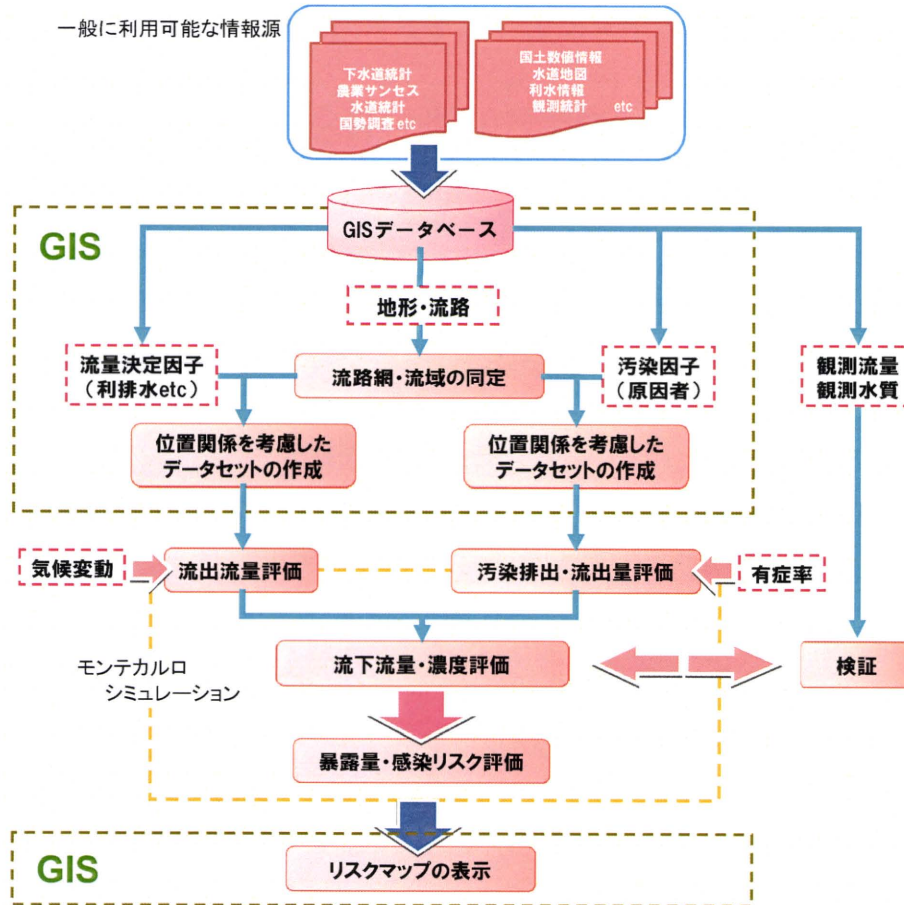


図 3 GIS を活用したリスク評価手法全体の手続きの流れ

(2) データモデルおよび評価モデルについて

一般に、GIS を用いた流出評価においては、グリッド（メッシュ）データモデルをベースとした計算がなされることが多い。グリッドベースの場合、空間を規則的に分割できるので計算が容易になるという利点があるが、流域境界や流路が正確に表現されない地表面データモデルであるため、病原微生物の感染のような確率的事象を取り扱う場合には、これらの不正確さが計算結果に多大な影響を与える可能性が否定できない。例えば、病原微生物の発生源となる施設や牧草地が、どちらの集水域に属しているかによって、リスク評価結果が異なることが考えられる。グリッドベースモデルにおける流路および流域作成手続きについては、DEM (Digital Elevation Model) を基準にしたアルゴリズムが古くから知られている。その結果を利用した流出評価についても多数の既存研究において確立され、GIS の標準的手法としても GIS のユーザーマニュアルに記載されているものもある^{6~9)}。

そこで本研究では、グリッドモデルについては手法を検討せず、ベクターベースモデルにおける計算手続きを一般に利用可能な情報だけで作成できるかについて検討を行う方針とした。なお、ここでいうベクターベースモデルとは、支流域など水文学的な分割流域を計算単位としこれらを1次元的に結合することで物質移動を追跡する流域分割・結合型モデル¹⁰⁾のことを指す。

河川流路や流域界については、汚染物質の流出や流下をどのようなモデルで評価するかによって、必要とされる情報の内容や形式が異なってくる。複雑なモデルになるほど、一般に利用可能な情報でのモデル化は困難となることが想定されるため、ここでは最も単純なモデルの利用を想定し、汚染物質の排出・流出については実測値や計画値あるいは原単位法を利用することとし、流下については流下方向一次元の一次式を利用することを前提に必要な情報と手続きを検討する方針とした。

B-2 計算手続きの構築と計算に必要なデータの課題抽出

基本的考え方を検討した結果、リスク評価全体の計算手続きとして、流路網・流域の同定、各流域からの流出流量計算、流域からの汚染排出・流出量計算、各河道区間の流下流量・病原微生物濃度計算、暴露量・感染リスク計算の手続きが必要となったので、これらの計算手続きの開発、すなわち、GISを活用した手続きおよびリスク計算プログラムを開発した。

さらに、GISを活用した手続きおよびリスク計算プログラムにおいて必要とされる地理情報について、一般に利用可能と考えられる情報源を探索し、情報のデータ形状を考慮することにより、本リスク解析手法におけるこれらのデータの利用上の課題を抽出することとした。

B-2-1 流路網、流域界の入手、作成手続きと必要データの調査内容

先に述べたようにグリッドモデルの場合には標高 (DEM) データをスタートに流路網、流域界を作成することができることが知られている。これをベクター変換することでベクターの流路、流域界モデルを得ても先に述べた問題は何ら解決されないため、既存の一般に利用可能なデジタル情報を活用して、後の流量・水質評価の計算条件に足りる流路網、流域界のデータセットを入手、作成することができるかを調査の視点とする。なお、ベクターモデル (流域分割・結合型モデル) で計算する場合には、流域界と流路の結合関係、流路と流路の結合関係 (つまり流路網であるか) が計算手続きにおいて必要な要素となる。

一般に利用可能なデジタル情報を探索した結果、流域界の情報源としては、国土数値情報統一フォーマットに流域界・非集水域 (面) (W12-52A)、および、流域・非集水域メッシュ (W07-52M) があった。流路としては、流路 (線) (W15-52L)、および、流路延長メッシュ (W06-52M)、あるいは、JPGIS 準拠のデータとして、国土数値情報の河川データ (W05-06~W05-09) があった。流路については、数値地図 25000 (空間データ基盤)

に河川中心線としても収録されているものがあつた。また、主要水系調査利水現況図数値データ（国土交通省土地・水資源局）にも収録されているものがあつた。これらを対象として、必要な要素を含んでいるかを調査した。

B-2-2 流域から河川に流出する流量の計算手続きと必要データの調査内容

流域から河川に流出する水として、各家庭や污水处理施設などの点源から排出されるものと森林や水田など面源から流出するものがある。本研究では、各家庭を、単独処理浄化槽、合併処理浄化槽、汲み取り式などの個別処理と公共下水道、農業集落排水処理施設、し尿処理場などの集合処理に分け、それぞれから排出される量に加え、畜産排水処理施設から排出される量を点源から排出する流量とした。点源である各污水处理施設から排出される流量の求め方は、各処理施設への1人1日あたりの流入量原単位、1頭1日あたりの流入量原単位を用いた。そのなかでも、浄化槽と畜産排水処理の場合は、解析対象となる各流域内の人口あるいは畜産頭羽数に処理施設への流入量原単位を積算することとした。一方、公共下水道、農業集落排水処理施設などの集合処理施設の場合、流域を越えて処理区が設定されることがあるので、処理区域内の人口に各処理施設への流入量原単位を積算することとした。

面源から流出する流量は、流域面積あるいは流域の土地利用別面積に原単位（比流量）を単純に掛けて求める方法か、または、実観測流量を参考に設定する方法とが容易であろう。河川の観測流量データをもとに河川を流下する流量の流況曲線を作成すれば、観測地点別に渇水、平水、豊水流量などの流量統計値を求めることができる。そのうえで、各観測地点の統計流量の差を求め、求めた流量差を各観測点の集水域面積で除算することで、各観測地点間の基底比流量の統計量を求めることができる。この基底比流量に各流域集水域面積をかけ、支流域ごとに渇水、平水などの統計的流出流量を求めればよいと考えた。

ただし、観測地点間で取水の影響を受け、観測地点間の流量差が負の値を示すことも考えられるため、観測地点間の取水施設とその取水量についても考慮する必要がある。観測地点間の流量差が負の値を示した場合には、利水のため河川より取水されていると考え、取水されている水量を河川に戻し、流量差が負の値にならないように補正すればよいと考えた。この補正を行って求めた基底比流量は、河川から取水が行われていないと仮定した場合のものとなるため、真の（すなわち自然状態の）基底比流量に近いと考えられる。

これらの基底流量と各污水处理施設からの排水量を足し合わせたものを流域から河川に流出する流量とした。

これらの計算手続きを実現するために利用可能と考えられる一般に利用可能な情報を探索した。点源施設および面源負荷量については次の排出負荷量の計算の項で述べることとし、ここでは、面源からの流出量と河川からの取水量（利水量）の計算に必要な情報について述べる。

観測流量のデータソースとしては、国土交通省による水文水質データベースや日本河川

協会の雨量・流量年表データベースがある。取水量のデータソースとしては、主要水系調査利水現況図数値データ（国土交通省土地・水資源局）を見つけることができた。ここで述べてきた GIS を活用した計算手続きで用いるために、これらのデータの中に各観測地点、取水地点の位置座標、統計量が記載されているかと、各観測・取水地点を流路網データと正しく対応づけることができるかを調査のポイントとした。

B-2-3 排出負荷量の計算手続きと必要データの調査内容

GIS のオーバーレイ解析機能を用いて各集水域における病原微生物の排出・流出要因を抽出する手続きとした。病原微生物による過去の汚染事例^{11~14)}、水源管理事例¹⁵⁾を参考にすると、病原性微生物の排出源としては、主に家庭排水の処理施設である下水道終末処理場、農業集落排水処理施設、し尿処理施設、コミュニティプラント、家庭用し尿浄化槽などがある。牛・豚などの家畜飼育、病院、動物園、ペットショップなども排出源として注目する必要がある¹⁴⁾。それに加えて、過去に感染事例のあるキャンプ場やプール、災害発生の影響も考慮し、これらの要因も汚染要因と考えるべきかもしれない。

これらの汚染要因に対しては、既報¹⁶⁾において GIS 上で利用可能と考えられる統計やデータベースに関する情報と GIS への取り込み方法を整理している。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なったものである。また、これらの情報の元データの状態と GIS に取り組む方法、取り組んだ後のフィーチャー種類、属性値、元データの更新頻度などの情報について整理を行なっている。その成果からデータソースの有無について表 1 に示し、GIS の収録方法を表 2 に示す。対象の原水汚染要因は、「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 項目 30 種類以上とし、これらの要因を「点源」と「面源」に分類するとともに、水源に常に影響を及ぼすと思われる要因を顕在要因とし、天災や管理不十分による事故など様々な起因が重なって水源に影響を及ぼすと思われる要因を潜在要因として分類している。

表 1 原水の汚染要因の分類と一般に利用可能なデータソースの有無

要因種別		要因			
顕在要因	点源	し尿起因	△下水処理場	△農業集落排水処理施設	△農業集落排水処理施設
		し尿処理施設	○し尿処理施設	○コミュニティプラント	×CSO
		動物・畜産起因	△家畜、畜産農家	×畜産糞尿処理施設	○動物園
	面源	レクリエーション起因	○温泉、公衆浴場	○プール	
		し尿起因	△浄化槽	×し尿・濃縮汚泥還元農地	
		動物・畜産起因	△牧場	×家畜糞尿還元農地	△サファリパーク
潜在要因	点源	動物・畜産起因	△野生動物		
		レクリエーション起因	△キャンプ場		
		災害起因	×浸水危険地域		
	面源	し尿起因	○下水汚泥処理施設、コンポスト施設	○し尿など高速堆肥化施設	×汚水・汚泥中継施設
		畜産・動物起因	○ペットショップ	○家畜保健衛生所	
		医療起因	○病院	○診療所	○保健所・衛生検査所
面源	動物・畜産起因	○動物病院、家畜保健衛生所	○医療研究機関、病原微生物を取り扱う研究施設	×感染性廃棄物処理、処分施設	
	し尿起因	△し尿汲み取り槽	×汚水・汚泥中継施設		
	災害起因	○地滑り地域、地滑り危険地域	○活断層		

○:データソースあり、△:データソースはあるが、場所の特定に問題あり、×:一般に利用可能なデータソース

表 2 汚染要因の GIS への収録方法

要因種別	要因	GISへの収録方法	フィーチャー種別	使用する属性	更新頻度
し尿起因	下水処理場	住所調査→住所入力 →アドレスマッチング	ポイント	放流量、処理人口	毎年更新
	農業集落排水処理施設	地区名入力 →アドレスマッチング	ポイント	処理方式、計画人口、戸数	毎年更新
	漁業集落排水施設	住所入力 アドレスマッチング	ポイント	処理方法、計画人口	毎年更新
	し尿処理施設	住所入力 アドレスマッチング	ポイント	処理方式、規模	毎年更新
	コミュニティプラント	住所入力 アドレスマッチング	ポイント	処理方式、規模、汚水処理量	毎年更新
	下水汚泥コンポスト施設	住所入力 アドレスマッチング	ポイント	投入汚泥量、コンポスト原料	更新なし
畜産起因	畜産農家	地図データ +テーブル結合	ポリゴン	各畜産別頭数	5年更新
	牧場	住所入力 アドレスマッチング	ポイント	無し	毎年更新
	畜産保健衛生所	住所入力 アドレスマッチング	ポイント	無し	毎年更新
	動物園、サファリパーク	住所入力 アドレスマッチング	ポイント	無し	毎年更新
	ペットショップ	住所入力 アドレスマッチング	ポイント	無し	毎年更新
	医療起因	病院	住所入力 アドレスマッチング	ポイント	診療科目、病床総数
診療所		住所入力 アドレスマッチング	ポイント	無し	毎年更新
動物病院		住所入力 アドレスマッチング	ポイント	無し	毎年更新
医療研究機関、病原微生物を扱う研究施設		住所入力 アドレスマッチング	ポイント	無し	更新なし
保健所		住所入力 アドレスマッチング	ポイント	無し	毎年更新
レクリエーション起因		キャンプ場、温泉、プール	住所入力 アドレスマッチング	ポイント	無し
災害要因	活断層	そのまま取込可能	ライン	活断層	更新なし
	地滑り地域	ネットからダウンロード→ そのまま取込可能	移動体:ポリゴン 清潔産:ライン 移動方向:ポイント	移動体の輪郭構造、構造区分	更新なし
	地形・地盤	そのまま取込可能	ポリゴン	傾斜、起伏量、標高	更新なし
水道	水道施設、取水位置	デジタイズ +属性手入力	ポイント	水道区分、水源の種類	5年更新

なお、前述のとおり汚染の排出量は一意に決定することができないので、ここではモンテカルロ法を用いて各流域から排出される病原微生物量の計算を繰り返し行って評価することとなる。本研究では「クリプトスポリジウムの排出量」すなわち「感染者（有症者）の有無」を不確実な事象の対象と考えることとした。本来、感染者の有無つまり感染確率を求める際、周囲の状況を考慮してヒトあるいは動物が感染する確率分布関数を用いる必要がある（例えば、周囲に感染者が多い場合には感染確率が上昇するなど）が、本研究では簡単のために周囲の状況を考慮せずに、有症率という一定の値にしたがう乱数を発生させることとした。ここで有症率とは、ある1回（1日）の事象でヒトあるいは動物がクリプトスポリジウムによる感染発症している確率である。この操作を繰り返し、流域からの排出負荷量を算定する流れとなる。このように考えると、この計算手続きに必要と考えられる情報はヒトおよび動物の数であり、それらの有症率を計算したうえで、ヒトおよび動物の排水処理施設からの排出負荷量・濃度を設定するという手続きとなる。有症率および排出濃度の設定については実績値や調査値¹⁷⁻³²⁾をもとに設定することとし、ここでは、ヒトおよび動物の数とその位置、また、それらの処理施設の位置や処理法などの情報を把握することができるかどうかを一般に利用可能な情報に対する調査のポイントとした。

放牧場（牧草地）などの面的汚染源については、上流土地状況を確認する情報源として利用可能と考えられた地図情報、衛星画像、航空写真には、直接同定できる情報は存在し

ておらず草地とゴルフ場などが区分されている民間会社の地図情報やその他の複数の情報を組み合わせて目視で判断利用することで同定が可能と考えられた。牧場やサファリパークについては、本来面源であるのに、面的なデータ整備がなされていないためポイント情報として取り扱わざるを得ない。さらに、そこにいる動物の頭数が全く不明であるため、本研究においてはリスク評価の計算対象およびデータの調査対象とはしなかった。Roseら³³⁾によると、水系感染症のアウトブレイクの20～40%は激しい降雨と関連がある報告されている³⁴⁾ため、今後の調査研究およびデータ整備が重要と考えられる。

B-2-4 流下流量・水質の計算手続きと必要データの調査内容

以上のステップで、モンテカルロ法を用いることで流域から流出する流量と流域から排出されるクリプトスポリジウム量が繰り返し計算ごとに一つずつ選択されることとなる。流下流量・水質の計算は決定的プロセスに従うので、各回ごとに同じ計算を繰り返せばよいことになる。ここでは、流域からの流量、負荷量が与えられる条件のもとで、各河道区間の流量・水質（病原微生物濃度）を計算する手法を検討し、必要情報の調査内容を決定した。

(1) 流下流量の計算

ベクターデータモデルにおいて河川流路の地理情報がネットワークとして作成されている場合には、図4のように各河道区間の上端、下端にそれぞれノード番号を意味するFNODE、TNODEに類する属性を持つ。これらは、上流側から下流側への接続関係を認識し、計算の順番を決める手続きに利用することができる。図4を用いて説明すると、最上流の河川はFNODEが「0」からスタートし、TNODEは「2」となり、その「2」をFNODEに持つ河道区間が下流に接続されているということである。ここで、「河川次数をあてはめる手続き」を作成し、上記のようにFNODEとTNODEの接続性を利用し、最上流となる河道を次数1とし、下流にいくにしたがって河道区間の次数を1つずつ増やせば、流量計算において、次数の小さい上流側にある河道区間から次数の大きい下流側にある河道区間に向かって計算を行うことが容易になる。定常時を前提とすると、上流から下流に向けて流量を加算していくことで全河道区間の流量を計算することができる。また、各河道区間の流量を考える際、その河道区間に対する集水域をその区間の流域とし、その流域内に住む各家庭や污水处理施設から河川に流出する水量と森林などから流出する水量を足したものを流量とした。

流域から河川に流出する水の流入場所はいかようにも設定できるが、集合処理施設は流域の下流地点、一方、単独浄化槽と合併浄化槽、汲み取り式など個別処理方式からの生活雑排水、畜産排水処理施設からの処理水は上流地点にあると考え、排水量と基底流量を足し合わせたものを河川流量とした(図5)。

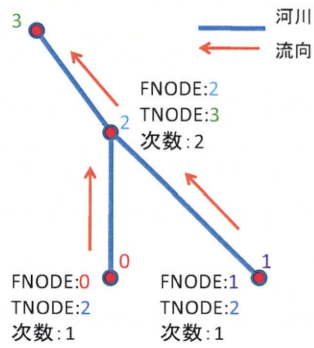


図4 FNODE,TNODEをもつ河川のデータモデル

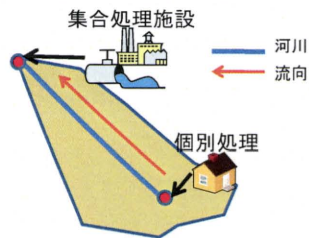


図5 流域内の排水の流入位置の仮定

なお、河川に分流地点がある場合には、加算のみでは計算できないため、分流する比率を分流地点に設定しておく必要がある。図6のように、もし次数の同じ河道が存在し、その2つ河道のFNODEも同じであれば、河道は分流していると判断し、設定した分岐率で流量を分流させることができる。同様に河川から取水がある場合にも取水地点の取水量を設定し流量を減算する必要がある。

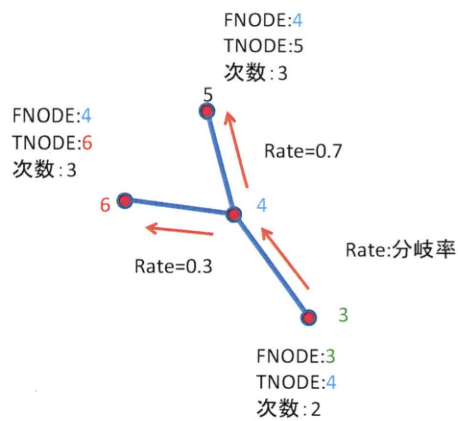


図6 分流の場合のデータ構造

(2) 流下水質の計算

合流による希釈・混合，流下による死滅を考慮した．河川が合流する際，濃度の変化は完全混合の考え方を採用した．分流，取水の場合には河川水と同濃度で分流，取水されるとした．また，河川に放出された病原微生物は，河川を流れる中で死滅や拡散すると考えられることから，濃度算出に病原微生物の環境中での挙動について考慮する必要がある．本研究では簡単のために拡散は考えず死滅のみの一次式で病原微生物の濃度変化を計算することとした．一般には流下時間 t に対する減衰式を考えるべきとされるが，流下時間は簡単なモデルでは求めることが難しいためここでは GIS の特徴をいかし河川流下距離 x に対する減衰式を用いて計算することとした．なお，簡単のために流下途中にあるダム貯水池や堰などの滞留施設による影響を考慮していないこととなるため，これらの施設の影響が大きいと思われる場合には注意が必要である．病原微生物の減少速度係数については，クリプトスポリジウムの参考値を得られる情報がなかったため下水処理水の再利用のリスクアセスメントに用いられたウイルスの減少速度 (Asano et al. 1992)³⁵⁾ を参考に設定した．

以上まとめると，流下水量と流下水質を計算するために必要な地理的情報は，流域からの流量・負荷量，流域と流路網の対応関係，流路網（接続関係），分流，取水，流下河川距離ということになる．これに加えて流下途中に存在する滞留施設についての情報も将来的には利用方法を検討し情報を確認しておくことが望ましい．ここでは，前項までで調査の対象とした項目を除き，分流地点に関する情報だけを調査対象とし，分流量あるいは分流比率が明示的にわかるかを調査のポイントとした．

B-2-5 検証の手続きと必要データの調査内容

感染リスク評価に進む前に，計算された河川流量，水質の検証を行うことが望ましい．検証に必要な情報は，観測流量，観測水質となる．もちろん，リスク評価の結果について検証に用いることが可能な情報，例えば水道を介した感染症発生数のような情報があれば，リスク計算についても検証を行うことが望ましい．流量については先に述べたので，ここでは観測水質として一般に利用可能な情報を検討し，公共用水域水質データ（国立環境研究所），日本河川水質年鑑（日本河川協会），水道統計水質編（日本水道協会）を調査対象とした．調査のポイントは水質の統計量と観測地点の位置情報が得られるかとした．

B-2-6 暴露評価，リスク評価の計算手続きと必要データの調査内容

リスク評価については，既に何度も述べているようにモンテカルロ法を用いて各河道区間の水質を計算したうえで，その水を水道原水として飲用した場合の感染リスクを評価する手続きとした．

(1) 暴露評価

暴露量とは、消費者がある特定の時点で摂取する病原体の1回当たりの用量,あるいは、複数回の暴露(例えば、1年間にわたってなど)の合計値と考えることができる。つまり、暴露量は飲料水中の微生物濃度と摂取した水の量によって決まるとされている¹⁾。しかしながら水道水を介した暴露は一般的に非連続的で、不定期なものであるため、1回の暴露を定義するのは困難である。そこで、一定期間(通常“1日”)を暴露の単位とすることが多い¹⁴⁾。

本研究においても、暴露量はある病原微生物濃度の河川水を水道が取水、浄水処理し、ヒトがその水道水を“1日”にどの程度摂取するかで決まるとした。つまり、ヒトの1日あたりの水道水摂取量と取水地点での病原微生物濃度に浄水率を掛け合わせることで処理水中の病原微生物濃度を推定し、暴露量を算出することができるとした。

1人当たりの摂取量については、米国環境保護庁(USEPA)が飲料水基準設定時に行うリスクアセスメントに用いられている2L/日という値が知られている。しかし、これは生存に必要な水分量から食物摂取による水分を差し引いて算出した値である。この値が、生存に必要な水のすべてを水道水から得ているとはいえない。また多くの病原微生物は乾燥に弱く、水道水を沸騰することで死滅する。このような病原微生物による感染リスクの評価に用いる水道水摂取量は、非加熱の状態では摂取する量でなければならない。現在、浄水場における水系感染症のリスクマネジメントにおいて、飲用しても安全であると保障されている水道水量として、1L/人・日という値が提案されている³⁶⁾。この値は、国内で行われた調査において、浄水器を通さずに非加熱で飲用されている水道水量の97.5%値とほぼ等しいとされている³⁷⁾。本研究でも1人1日当たりの水道水摂取量を1Lとした。

浄水処理方式については、本来なら各地域の処理方式と方式別の処理率の違いを考慮してリスク評価を行うべきであるが、ここでは基本方針の際に述べたように河川区間別のリスク比較を行うことを目的としたので、処理方式は急速ろ過処理1種類のみとして評価を行うこととした。

急速ろ過処理は、わが国の浄水処理において最も広く用いられている方式である。WHO飲料水水質ガイドラインによると、急速ろ過方式の運転環境、使用する凝集剤により違いはあるが、原虫除去率は $1\log_{10}\sim 3\log_{10}$ (不活化率約90%~99.9%)としている³⁸⁾。また、実際に河川水を原水として急速ろ過方式の浄水処理を行っているある浄水場においての原水浄化率の報告では、原水中の濃度にもよるが $2\sim 3\log_{10}$ 程度の除去率が得られている³⁹⁾。本研究では、急速ろ過によるクリプトスポリジウムの除去率を $1\sim 3\log_{10}$ の平均値とした。

(2) 用量-反応関係

ここで用いる用量-反応モデルは、ヒトが暴露された病原微生物量、つまり用量によりヒトが受けるリスクがどの程度であるかを決定するモデルである。用量-反応モデルは複数提案されている⁴⁰⁾が、次に述べる指数モデルがよく用いられる。

指数モデルは、低濃度での病原微生物数はポアソン分布に近似されるので、ある病原微生物がヒトに感染を引き起こす割合が不変である場合、つまりヒトと病原微生物の相互関係が一定の場合に用いられる。平均的な微生物数を含む1回の暴露による感染確率 P は次の指数モデルで与えられる⁴¹⁾。

$$P(D) = 1 - \exp(-\gamma D)$$

P : 一回の暴露で感染する確率, D : 平均暴露量つまり用量, γ : パラメータ

パラメータ γ は、病原微生物がヒトに感染する割合で、大きくなるほど感染力が高いことを示している。このパラメータ算出については、DuPont ら⁴²⁾ がボランティアを介してのクリプトスポリジウムの用量と感染・発症割合の関係について調査を行った。また Hass ら⁴³⁾ は、この調査から得られた結果を指数モデルにあてはめ、用量・反応の関係を作成した。その結果1 オースト摂取することによる感染確率は、およそ 0.42% と算出している。本研究では、Hass らによって求められたクリプトスポリジウムのパラメータ γ を用いた。

(3) リスク評価

以上から水道水飲料による1日の感染リスクを算出することができる。この結果を用いて単回および反復暴露後の感染確率 (P^n) を求める式が次のように提案されている⁴¹⁾。

$$P^n = 1 - (1 - p)^n, \quad n : \text{反復回数}$$

この式は単回の感染確率 p が一定と考えているが、本研究では流域の有症者数は1日毎にランダムで発生するとしているため、計算回ごとに p の値が変動する。そこで本研究では年間の感染リスクは次式を用いて計算するとした。

$$P^n = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i)$$

以上、暴露評価・リスク評価については、本研究の基本方針にしたがい浄水施設や供給地域別の評価を行わないため特に地理情報を必要としないので、調査する項目はないとした。

B-3 計算精度の確認

構築した計算手法を鳥取県東部の千代川流域に適用し、各河道区間の流量、病原微生物濃度、また、この河川水を水道原水として飲用に用いた場合の感染リスクを計算した。そして、河川流量の実測値、病原微生物の既存の検出事例と比較しその計算精度の確認を行った。

C. 結果及び考察

C-1 計算手続きに必要とされる一般に利用可能なデータの課題

C-1-1 流路網, 流域の入手, 作成における課題

ベクターデータ形式の流域界については、支川流域程度の流域界を国土数値情報の流域界・非集水域（面）（W12-52A）から得ることができた。これよりも小さい流域分割を望む場合には、手作業により流域分割するか、グリッドベースモデルの計算結果を援用するであろう。

流路については、国土数値情報の W15-52L および W05-06～W05-09、および、数値地図 25000（空間データ基盤）ではノードとリンクにより流路データが構成されているため、河川の位置だけでなく流下方向や河道の接続関係を利用することができることがわかった。主要水系調査利水現況図数値データには、GIS 用のデータフォーマット（shp）と独自の利水現況図フォーマット（世界測地系）とで収録されている。前者はノードとリンクで構築されたデータではなくラインデータであるため河道の接続関係を利用できない。後者はノードとリンクで収録されているが独自形式であることから、データ変換の労力が必要とわかった。

流域界と流路の対応については一部のデータで整合がとれていない場合が見られたのでデータをそのまま用いることは計算間違いにつながる可能性が考えられた。このような場合には、GIS のオーバーレイ機能や空間結合機能を用いることで流域界と流路の接続関係を構築することができるので特に問題とはならない。

C-1-2 流出流量計算における課題

国土交通省の水文水質データベースには、代表的な河川の時系列流量観測データ、観測地点の緯度経度が掲載されている。したがって、この地点より上流集水域の基底比流量を決定することに容易に利用可能であることがわかった。しかしながら、流量観測点の数に比べ観測流量が公開されている箇所が少ない。極端なケースでは 1 つの 1 級河川に対して利用できる観測流量が 1 地点以下ということもある。土地利用、土地被覆の違いなど地域特性によって基底比流量が異なってくるような地域では、公開される流量観測地点の数が少ないと、基底比流量を実態に即して設定できなくなるため流量の計算に誤差が生じてしまうことにつながる。実態との差がリスク評価にどのような影響を与えるかについて不明であるため、今後検討すべき課題と考えられる。

雨量・流量年表データベースには昭和 13 年から平成 15 年までの日流量データと観測所コードが収録されており csv 形式で出力できることがわかった。しかし位置座標が収録されていないため、観測所の位置座標を別のデータソースから取得する必要がある。

取水に関する情報については、主要水系調査利水現況図数値データのなかで、農業用水、水道用水、発電用水など用途別の取水量と取水位置が収録されている。しかし、記録されているのは主要水系（主に 1 級河川のみ）であるし、取水量は計画値だけのケースがほと

んどである。実際に計画量だけを常に取水していれば流量計算において問題にはならないが、そうでない場合には実態と異なる計算結果が得られることとなる。位置情報については、独自の利水現況図フォーマット（世界測地系）と GIS 用のデータフォーマット（shp）で収録されている。前者を用いる場合には変換プログラムを作成する必要があるが、後者であれば一般的な GIS であればすぐに利用可能である。いずれを用いても、取水位置が河川の位置上に置かれているわけではないので、GIS の最近検索機能を用いて取水河川を決定した場合に、実態とは別の河川から取水することになってしまう場合がある。位置データだけに頼るのではなく、取水源と取水対象河川との関係性を示すデータセットを準備することで回避できると考えられるが、解析対象流域が広範囲にわたる場合にはその労力は相当大きいことが予想される。

C-1-3 汚染排出・流出量計算における課題

既報^{16, 44)}でも述べていることと同等の内容となるが、改めてデータの問題点を指摘しておく。下水処理場、集落排水処理施設に関する情報源からは、処理人口や処理方法の情報は得ることができたが、施設の位置に関する情報が不十分なため、施設の位置を特定し GIS に取り込むことに多大な時間を要した。

浄化槽や畜産頭数については、一般に利用可能なデータでは、空間精度が粗い点、秘匿データが存在する点から、汚染評価結果やリスク計算結果に大きな影響を与えられと思われる。各水道事業者が精度改善のために都道府県などから個票データを入手して整理することは非効率と考えられるため、これらの情報の関係機関に利用環境を整備するように働きかけることが必要と考えられた。

C-1-4 流下流量・水質計算における課題

分流地点に関する情報が調査対象であったが、一般に利用可能な情報のなかに分流量あるいは分流比率を示すような情報は見あたらなかった。ただし、農業用水や発電用水として分水しているような場合には、前述の主要水系調査利水現況図数値データを利用することができる。しかし、流路網に出現する分水地点が取水目的による分水なのか、それ以外のための分水なのかは流路網データにはそのような情報は記載されていないため判断できないため、目視により分水地点と利水データとを比較する必要がある。また、分水の目的によっては分水量の操作がなされる場合がある。これが分水後の河川流量や水質にどの程度の影響を与え、リスク評価結果に影響を与えることになるのか今後の検討課題と考えられる。

C-1-5 検証手続きにおける課題

日本河川水質年鑑、水道統計水質編ともに水質の統計量（最小、平均、最大値）を xls 形式または csv 形式のデータとして得ることができる。しかし、位置情報の記載があいま

いであるため、自動的な利用は不可能である。他方、公共用水域水質データは、観測ごとの検体値および統計量に加えて観測の位置座標およびデータフォーマットが公開されているため、容易に利用可能と考えられた。

なお、一般に利用可能なデータではないが、各都道府県は水道地図を作成して所有している。水道統計については位置に関する情報が不十分なため、施設の位置を特定し GIS に取り込むことに多大な時間を要するため、この水道地図の活用が望ましい。しかし現状では、水道地図や水道統計については、相互の情報の整合性に欠けており、情報の整合を取るために水道台帳を確認する労力が必要である¹⁰⁾。各都道府県が水道地図を作成するに当たっては、厚生労働省から「平成 17 年度版水道地図作成要領」が示されているが、GIS やその他データベースソフトなどとの連携利用を前提としたものになっていないため、紙地図上に ID 番号を附すこととなっていない。そのため水道地図上の水源と水道統計や水道台帳のデータとの間で相互参照ができないという問題点がある。

C-1-6 感染リスク評価における課題

本研究では、浄水方式や水道受益者の情報を反映させないとしたので、特に地理情報は必要とはならない。よって、調査項目を設定していないためここで述べる結果はない。浄水方式や水道受益者の情報を反映させたリスク評価を行うにはこれらの地理情報が重要となるので、今後調査を行う価値はあると考えられる。

C-2 計算精度の確認結果

C-2-1 流量の再現精度について

計算に用いた流量観測地点と取水地点を図 7 に示す。流量データをもとに各観測地点間の流量差とその観測地点間の取水量についてまとめたものを表 3 に示す。観測地点間では、取水の影響を受けるため必ずしも観測地点間で流量が増加するとは限らない。計算手法において述べたように、観測地点間の取水を行ってないものとし、取水観測地点間の流量差に取水量を加算したうえで、観測地点間流域の比基底流量を求めた結果を表 4 に示す。下流域にいくほど比基底流量が減少した値を示しており、流域の土地利用や地域特性を考慮した本来の比流量を求めることができたと考えられる。

これに分流地点における分流比率を現場での観測状況をもとに一定値として手作業で設定を行ったうえで、各河道の渇水流量、平水流量を求めた結果を図 8 に示す。観測地点で計測されている実測の流量値と計算流量を表 5 に示す。実測流量と計算流量を比べると、2 地点（片山地点、行徳地点）の渇水流量を除いて、渇水流量、平水流量、豊水流量ともに大きな差は見られず精度良く再現できた。渇水時の行徳観測地点では大きな差がみられる。本計算において河川流量は、面源からの基底流量と点源からの污水处理施設からの処理水の合計値としている。渇水期は渇水流量を基としているため、面源の比基底流量が平

水時に比べて小さくなる。一方、処理施設からの処理水は時期にかかわらず原単位が一定であるため人口が集中する下流地点では流量が大きくなる。それに加えて、計算流量は分水地点にて一定比率での分水を行っているとして計算しているため、渇水時には実際の分水流量より少ない水量しか分流されないといった計算結果になる可能性がある。分水地点において渇水時であろうが一定の分水量を確保するような運用を行っているにもかかわらず分水比率を用いて計算した場合にこういった結果がもたらされる。千代川では下流地点に農業用の規模の大きな分水地点が存在している。行徳は観測地点のなかでは、最も下流にある観測地点であり、これらの影響を大きく受けたと考えられる。

また、渇水期の取水の規制や節水などの水利用に規制がかかることも十分考えられるが、本研究では、これらについては考慮していない。実測値の流量に近づけるには、取水地点、分水地点での取水・分水水量も含め、渇水期の使用水量の制限についても考慮すべきであり、このような問題をどのように改善するかが今後の課題である。

C-2-2 水質の再現精度について

一般に利用可能な情報では位置精度および畜産頭数等の規模に関する情報が不足するため集水域における汚染源の規模が実態と大きく異なるものになると示されている¹⁶⁾ので、鳥取県より家畜飼養状況の個票データを入手し計算を行った。図9に一般に利用可能な情報のみで計算した場合と個票データを基に計算した場合の河川中の病原微生物の平均予測濃度（期待値、以下、平均濃度とする）を示す。千代川下流の下水処理施設、農業集落排水処理施設や家畜からの排水の影響により、下流河川では河川中の病原微生物の平均濃度が高くなる。一般に利用可能な情報のみでは下流の汚染状況に大きな差は見られないが、個票データを用いた場合には大きな差が再現されている。

個票データを用いた場合について、特定の下流河川での濃度の範囲とその頻度についてみると、平均値は 1.0×10^{-4} 個/ m^3 であり、最大値は290個/ m^3 であった。計算の結果より、クリプトスポリジウムは平常時にはほとんど検出されないが、ごく稀に高濃度の流出が発生しており、検出時にたまたま検出される状況にあると考えられる。全国の水道原水では、平均 $10^0 \sim 10^1$ 個/10Lを超えることはないが、主要水系においては1~26個/10L（ $\approx 100 \sim 2600$ 個/ m^3 ）が検出されていると報告がある⁴⁵⁾。鳥取市上水でも平成12年に検出が確認されており、その濃度12個/20L（ ≈ 600 個/ m^3 ）であった。なお検出頻度は、過去10年間に1回程度と非常に稀な事象であり、検出されないことのほうが多い。先ほど述べたように検出された地点の河川では、最大で290個/ m^3 であり、実際に検出された値と同じオーダーであり、濃度の再現精度が著しく悪いとは考えられない。

表 3 観測地点間の統計流量の差とその区間の取水量

観測地点	水系	渇水流量 (m^3/sec)	平水流量 (m^3/sec)	豊水流量 (m^3/sec)	取水量 (m^3/sec)	主な取水
谷まで	袋川	0.89	3.83	5.88		
谷から宮ノ下	袋川	-0.75	-0.41	0.04	1.65	農業用水
若桜まで	八東川	1.12	5.26	9.56		
若桜から片山	八東川	2.14	10.36	15.87	4.32	農業用水
智頭まで	千代川	4.1	8.52	12.38		
智頭から用瀬まで	千代川	3.03	6.88	8.93	0.47	農業用水
行徳まで	千代川	-4.72	4.28	5.32	6.81	上水道用水

表 4 観測地点間の取水量を考慮した観測地点間流域の比基底流量

観測地点間	流量の増加 (m^3/sec)			流域面積 (km^2)	地点間流域の比基底流量 ($\text{m}^3/(\text{sec}\cdot\text{km}^2)$)		
	渇水	平水	豊水		渇水	平水	豊水
谷まで	0.89	3.83	5.88	69	0.013	0.055	0.085
谷から宮ノ下	0.897	1.237	1.687	22	0.041	0.057	0.078
若桜まで	1.12	5.26	9.56	148	0.008	0.035	0.064
若桜から片山	6.4597	14.68	20.1897	256	0.025	0.057	0.079
智頭まで	4.1	8.52	12.38	210	0.020	0.041	0.059
智頭から用瀬まで	3.5	7.35	9.4	143	0.025	0.052	0.066
行徳まで	2.086	11.086	12.126	294	0.007	0.038	0.041

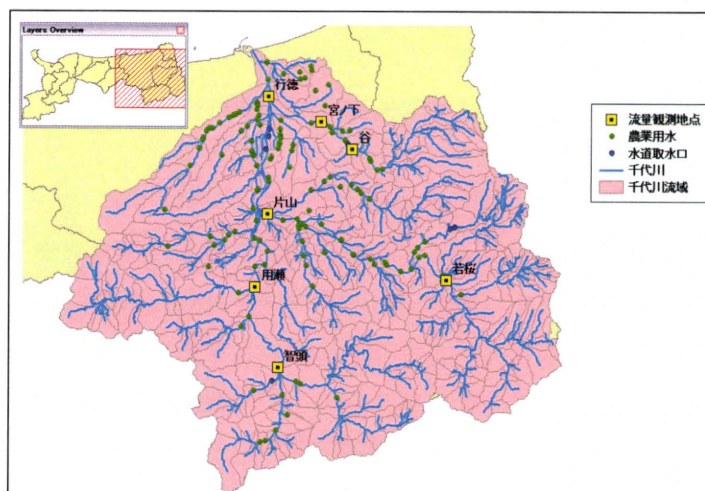


図 7 流量観測地点と取水地点



(a) 渇水流量の計算結果

(b) 平水流量の計算結果

図 8 流量の計算結果

表 5 流量実測値と計算値の比較

観測地点	渇水流量		平水流量		豊水流量	
	m ³ /sec		m ³ /sec		m ³ /sec	
	実測	予測	実測	予測	実測	予測
谷	0.89	0.85	3.83	3.63	5.88	5.57
宮ノ下	0.14	0.15	3.42	3.2	5.92	5.82
若桜	1.12	1.16	5.26	5.29	9.56	9.6
片山	3.26	5.75	15.62	15.71	25.43	23.91
智頭	4.1	4.48	8.52	9.31	12.38	13.39
用瀬	7.13	7.69	15.4	16	21.31	21.93
行徳	5.81	16.8	38.72	43.39	57.98	59.78

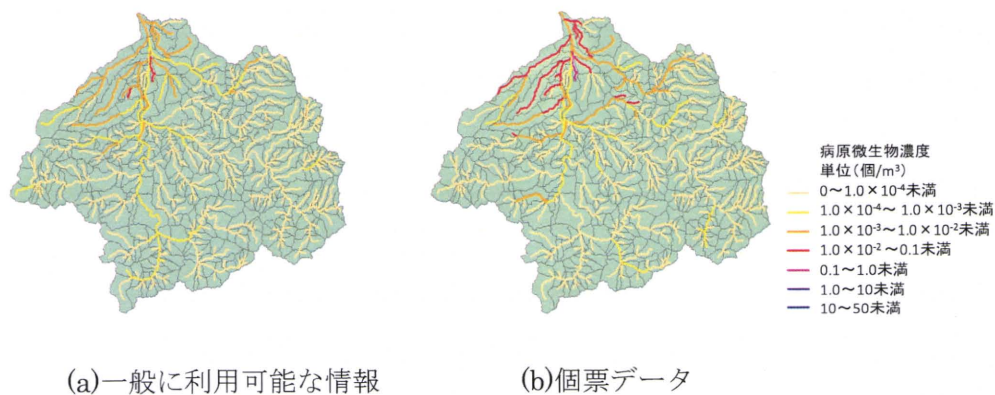


図 9 病原微生物濃度の期待値

C-3 感染リスクの評価結果，視覚化結果について

図 10 に各河道表流水を水道原水として飲用に用いた場合の年間感染リスクを計算して GIS を用いて表示した結果を示す. 検証に用いる情報が存在しないため計算精度について論じることはできないが，これまでに述べてきた手続きを用いることでリスクマップを作成し視覚的にリスクを比較できることを示した. この計算手続きに気候変動時の流量低減を流量統計量の変化として組み込むだけで，気候変動に対する感染リスクの変化を評価することができる.

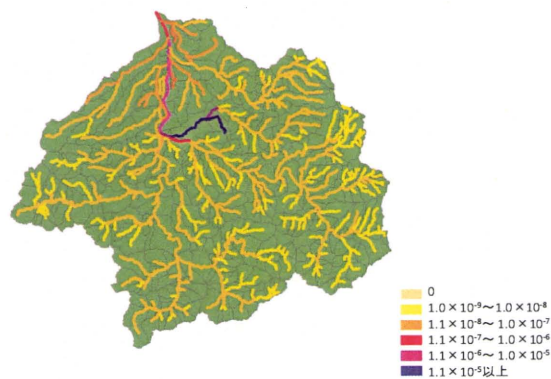


図 10 各河道表流水を飲用に用いた場合の年間感染リスク

D. 結論

本研究では、GIS（地理情報システム）において比較的容易に管理可能で一般に入手可能な流域情報や河道などの地図情報や統計情報を組み合わせることで、河川表流水の病原微生物による汚染リスク、および、その水を水道原水とした場合の水道飲料水による感染リスクを計算し、リスクマップとして表示するGISを活用した手続き手法を検討した。さらにこれらの検討を通じて、それらの手続きにおけるデータや手続き上の問題点を明らかにするとともに、情報の空間精度や集計精度が表流水の水量・水質などの評価結果に与える影響について検討することを目的とした。以下にそのまとめを示す。

- 1) 河川流路および流域界などの図形情報と観測流量統計、利水情報については、一般に利用可能な情報源から入手・加工することで流量計算に利用できるが、利水の位置が河川流路と一致しないため計算に悪影響を及ぼす可能性が示唆された。また、分流の情報については、一般に利用可能な情報からは入手できない問題点が残った。分流量の情報を加えるなど、これらを手作業で確認することで、任意の河道区間の流量を精度良く再現できることを明らかにした。
- 2) 河川水中の病原微生物濃度を評価するために必要な人口、畜産、污水处理施設については、一般に利用可能な情報源から入手はできるが、位置や規模（浄化槽数や畜産頭数）に関する情報が不十分であった。特に污水处理施設に位置情報を付与する作業が必要であるため、かなりの労力を要すると考えられた。また、畜産や浄化槽の規模や位置の不明は計算結果に悪影響を及ぼす可能性が示唆された。
- 3) 任意の河道区間、表流水取水位置における病原微生物濃度をGISを利用した一連の手続きとして計算し、リスクマップとして表示できることを示した。このとき人および家畜のクリプトスポリジウムへの罹患および有症の生起確率を考慮し、モンテカルロ法により任意の河川区間のオーシスト濃度分布を算定したうえで、表流水を水道原水として用いた場合の飲料水による感染リスクをリスクマップとして表示できた。将来的には、気候変動時の流量低減・渇水を考慮することによって、気候変動時のリスクマップを作成できることを示した。
- 4) 情報の空間精度や集計精度が表流水の水量・水質などの評価結果に与える影響について検討することを目的としたが、一般に利用可能な情報では、1つの情報に対して複数種の情報を準備することが本研究の範囲ではできなかったため目的を達成することはできなかった。他方で、情報の空間精度や集計精度が著しく異なるものとして、個票データを準備することで計算結果が大きく異なることを示したが検証に利用できる水質データが限られるためその精度の確認は十分ではなかった。

以上より、本研究において提案した手続きでは、一般に利用可能な情報のみを用いた場合には一連の計算を自動化することはできないことを示した。計算精度を犠牲にすること

になるかもしれないが、汚水処理人口や畜産頭数については、一般に利用可能な情報のなかにさらに空間集計精度の粗いものとして市町村単位のものが存在しているので、今後はこれらの情報も対象に計算精度への影響を確認する必要がある。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、大学院生（当時）の田中春樹氏の尽力と、鳥取県生活環境部水・大気環境課よりデータの提供をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

E. 参考文献

- 1) 日本水道協会（2008）：WHO 飲料水水質ガイドライン第3版(第1巻), pp. 47-82
- 2) 松田奉康, 保坂幸尚, 圓仏伊智朗, 筒井和雄（1999）：地理情報利用による河川流域汚濁負荷量の予測－東京都水源河川での事例－, 水道協会雑誌, 第68巻, 第4号, pp.11-21
- 3) 松田奉康, 保坂幸尚, 伊原泰敏, 圓仏伊智朗（1999）：河川流域汚濁負荷量に基づく長期水質予測－東京都水源河川での事例－, 水道協会雑誌, 第68巻, 第10号, pp.2-13
- 4) 国包章一（2004）：地理情報システムを用いた水道原水の保全に関する研究, 厚生労働科学研究費補助金厚生労働科学特別事業平成15年度総括・分担報告書
- 5) 森一晃, 国包章一, 津野洋（2004）：水道原水保全における地理情報システム（GIS）の活用, 第55回全国水道研究発表会, pp.118-119
- 6) 小尻利治, 東海明宏, 木内陽一（1998）：シミュレーションモデルでの流域環境評価手順の開発, 京都大学防災研究所年報, 第41号B-2, pp.119-134
- 7) 児島利治, 寶馨, 立川康人（2002）：分布モデルを中心とする洪水流出解析手法の高度化に関する研究, 河川技術論文集, 第8巻, pp.437-442
- 8) 佐山敬洋, 立川康人, 寶馨（2007）：流出モデルの基準面積に関する研究, 土木学会論文集B, Vol.63, No.2, pp.92-107
- 9) ESRI（2001）：ArcGIS Spatial Analyst ユーザーズ・ガイド
- 10) 立川康人（2002）：流域水循環の数値モデルの進歩と今後の課題, 土木学会2002年度水工学に関する夏期研修会講義集, 38巻, A-1, pp.1-22
- 11) 国包章一（2006）：飲料水中のウイルス等に係る危機管理対策に関する研究, 厚生労働科学研究費補助金厚生労働科学特別事業平成17年度総括・分担報告書
- 12) 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, pp.16-23
- 13) 金子光美（1999）：水道のクリプトスポリジウム対策（改訂版）, ぎょうせい
- 14) 金子光美（2006）：水道水の病原微生物対策, 丸善出版, pp.24
- 15) 厚生労働省健康局水道課（2006）：平成17年度流域水質の総合的な保全・改善のための連携方策（緊急時の水質リスクに対応した連携方策）検討調査報告書
- 16) 増田貴則, 田中春樹, 山田俊郎, 秋葉道宏, 細井由彦（2009）：GISを活用した水道原水の汚染リスク要因抽出に流域情報の形態が与える影響について, 環境工学研究論文

集, 第 46 卷, pp.241-247

- 17) 諏訪守, 鈴木穰 (1998): 下水処理場等におけるクリプトスポリジウムの検出方法の検討及び実態調査, 土木研究所資料第 3533 号
- 18) 山本徳栄, 森田久男, 森永安司, 川名孝雄, 砂押克彦, 山口正則, 丹野瑳喜子 (1998): クリプトスポリジウム症患者における臨床症状とオーシスト排出の推移, IASR, Vol.26, No.7, pp. 170-171
- 19) 三輪田俊夫 (1993): 食中毒の正しい知識改訂版, 菜根出版, p8
- 20) 日本下水道協会 (2006a): 流域別下水道整備総合計画指針と解説, 基礎調査, pp.50-53
- 21) 日本下水道協会 (2006b): 平成 16 年度版下水道統計-行政編-, 1 章 計画, pp.2-103
- 22) 厚生労働省 (2001): 水道におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針
- 23) 村上光正 (2003): 河川のクリプトスポリジウムの濃度の推算, 水, Vol.45, No.11, pp.20-27
- 24) 環境省 HP, 廃棄物処理技術情報 HP, 平成 18 年度調査結果
http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h18/index.html
- 25) 河野江利子 (1998): Cryptosporidium のオーシストの排泄パターン,
<http://www.research.kobe-u.ac.jp/fhs-parasite/laboratory/laboratory1.html>
- 26) 畜産環境整備機構 (2004): 家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術, pp.121
- 27) 農林水産省 (2008): 家畜衛生週報, No.3009 (Vol. LX No. 24), P197-204
- 28) 中央畜産会 (2002): 畜産環境保全指導マニュアル改訂版, pp.17-18
- 29) 西本和之 (2007): 水道原水のクリプトスポリジウム等による汚染とその健康リスク, 厚生労働科学研究費補助金研究成果等普及啓発事業研究成果発表会資料, pp.4
- 30) 農林水産省 (1997): 家畜衛生週報, No.2480
- 31) 力本敬史, 和田明, 北谷道則, 西尾友秀, 村田省平, 大谷喜一郎 (2008): 相模川における畜舎排水の下水道接続によるクリプトスポリジウム汚染の低減化対策, 第 59 回全国水道研究発表会, P114-115
- 32) 橋本温, 河井健作, 西崎綾, 松本かおり, 平田強 (1999): 相模川水系のクリプトスポリジウムおよびジアルジア汚染とその汚染指標の検討, 水環境学会誌, Vol.22, No.4, P42-47
- 33) Rose.J.B., Daeschner S., Easterling D.R., Curriero F.C., Lele S. and Patz J.A.: Climate and waterborne disease outbreaks. Journal American Water Works Association, Vol. 92, No.9, pp.77-87
- 34) 片山浩之 (2003): 水道におけるクリプトスポリジウム感染リスクの評価とその管理, 環境技術, Vol.32, No.6, pp439-444
- 35) Asano,T., Leong, L.Y.C., Tennant, A.and Sakaji, R.H. (1992): Evaluation of the California waste water reclamation criteria using enteric virus monitoring data, Water science and Techology, 26, No.7-8, pp.1513

- 36) 平田強, 木村憲司, 保坂三継, 猪又明子, 伊与亨, 石橋良信, 鈴木穰, 諏訪守 (2001) : 原虫基準の検討結果, 第4回日本水環境学会シンポジウム講演会, pp.183-184
- 37) 矢野一好, 保坂三継, 大瀧雅寛, 田中愛, 伊与亨, 土佐光司, 市川久浩 (2000) : 飲用水量について-アンケート調査の結果から-, 第3回日本水環境学会シンポジウム講演会, pp.159-160
- 38) World Health Organization (2004), Guidelines for drinking-water quality, Third Edition, Vol. 1
- 39) 平田強, 森田重光 (2003) : 厚生労働科学研究費補助金 (新興・再興感染症研究事業) 「クリプトスポリジウム及びジアルジアの診断, 治療及び疫学に関する研究 (水道水のクリプトスポリジウム等による汚染に係る健康リスク評価及び管理に関する研究)」平成14年度総括・分担研究報告書, pp.123-141
- 40) 金子光美 (2001) : 水の微生物リスクとその評価, 技報堂, P65, 257-273
- 41) Hass,C.N (1983) : Estimation of risk due to low doses of microorganism, a comparison of alternative methodologies, Am.J.Epidemiol, Vol.118 , No.4, pp.573-582
- 42) Dupont,H., Chappell,C., Sterling,C., Okhuysen,P., Rose,J. and Jakubowski,W (1995) : Infectivity of Cryptosporidium parvum in healthy Volunteers. New England Journal of Medicine Vol.332, No.13, pp. 855-859
- 43) Hass,C.N., Crockett,C.S., Rose,J.B., Gerba,C.P. and Fazil,A.M. (1996) : Assessing the risk posed by oocysts in drinking water. Journal of American Water Works Association Vol.88, No.9, pp.131-136
- 44) 増田貴則 (2010) : 地理情報システム (GIS) を活用した気候変動に対応した水道原水管理・評価手法の開発, 「気候変動に対応した飲料水管理手法の開発に関する研究」, 厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合研究事業平成21年度総括・分担研究報告書, pp.63-72
- 45) 保坂三継, 猪又明子 (2006) : 水源河川と水道水の原虫汚染, モダンメディア Vol.52, No.7号, pp.14-21

F. 健康危険情報

該当なし

G. 研究発表

該当なし

H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

該当なし