

大和川における糞便性大腸菌群の 調査研究について(中間報告) ～遊べる大和川をめざして～

寺井 昭博

近畿地方整備局 大和川河川事務所 河川環境課 (〒583-0001大阪府藤井寺市川北3-8-33)

大和川は、1955(昭和30)年代までは子どもたちが川遊びをする風景がよく見られたが、高度経済成長期に水質が急激に悪化し劣悪な状態が続いた。そこで、流域一体となって各種水質改善に取り組み、近年ではBODが環境基準レベルを満足するほど水質が良くなっている。しかし、水浴場の判定基準の一つである糞便性大腸菌群が夏場を中心に多く検出されるという課題があり、その発生源や流出メカニズムについては把握できていないのが現状である。そこで、糞便性大腸菌群の由来調査や数値解析モデルの構築等を行い、発生源の特定、流出メカニズムの解明、削減方策の検討を3年計画で行っており、その中間報告を行うものである。

キーワード 糞便性大腸菌群, DNA, 官学連携, 大和川水環境協議会, 流域一体

1. はじめに

大和川では悪化した水質を改善すべく、清流ルネッサンス、Cプロジェクト計画2006、また、2011年度に大和川水環境協議会で策定した「大和川水環境改善計画」などに基づき、流域一体となって様々な水環境改善対策に取り組んできたことで、近年では天然アユの遡上が確認されるまで水質が回復してきた。

また、大和川水環境改善計画では「遊べる大和川」「生きものにやさしい大和川」「地域で育む大和川」を水環境改善の方向性として位置づけているが、環境省が定める水浴場判定基準の指標の一つである糞便性大腸菌群の数値が夏場に基準値より多いという状況にある。また、糞便性大腸菌群の発生源や流出メカニズム、河川水中における動態がよくわかっていないのが現状である。そこで、1955(昭和30)年代まで子どもたちが大和川で水遊びをしていたように、遊べる大和川を目指すべく、糞便性大腸菌群の削減方策についての調査研究を3年計画で開始した。

2011年度には学識経験者と大和川河川事務所で構成される「糞便性大腸菌群調査研究プロジェクトチーム」を発足させた。まずは、DNA分析による糞便性大腸菌群の由来(人、牛、豚等)把握、既存水質データ及び文献等による調査、降雨時の糞便性大腸菌群数の調査を行い、糞便性大腸菌群に関する数値解析モデルの基礎となる流量・水温モデルを構築した。

2. 糞便性大腸菌群について

(1)大腸菌群

大腸菌群は、人体等の腸管内に生息しているものと土壌起源のものを含めた細菌群の総称であり、約36℃で48時間培養したときに、培地上に検出される細菌の数を示すものである。

(2)糞便性大腸菌群

糞便性大腸菌群は、大腸菌群のうち44.5℃という高温でも生育する細菌群であり、大腸菌以外の細菌も含まれる。糞便性大腸菌群が多く検出されるということは、糞便汚染を受けた可能性が高く、赤痢菌、サルモネラ菌などの病原菌に感染しているリスクが高いことを示す。このため、環境省では水浴場水質の判定基準に用いている。

(3)大腸菌

大腸菌は、温血動物(ほ乳類、鳥類)の消化管、特に大腸に生息し、糞を通じて環境中に排泄される。この大腸菌の大部分の菌株は非病原性であるが、一部には下痢を主症状とする急性腸炎を引き起こす病原性大腸菌(O157など)がある。

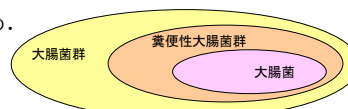


図-1 糞便性大腸菌群等の関連性イメージ

3. 大和川における糞便性大腸菌群数の現状

2011年度の大和川本川8地点(図-2)における糞便性大腸菌群数をみると、全地点で6月から11月にかけて検出数が増加し(図-3)、水浴場判定基準(表-1)を超える傾向がある。

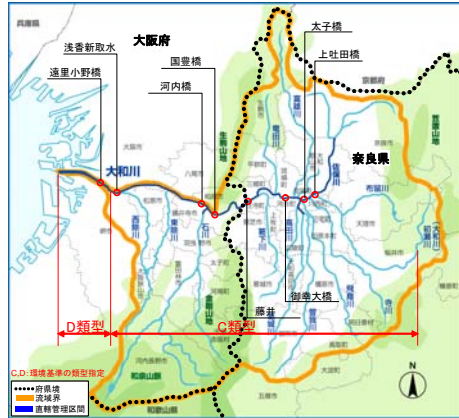


図-2 大和川調査地点

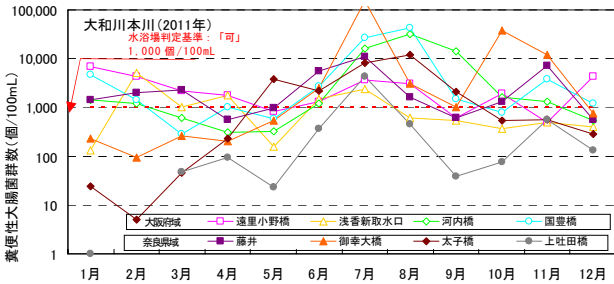


図-3 大和川の糞便性大腸菌群数の月変化(2011年)

表-1 水浴場判定基準(環境省)

区分	糞便性大腸菌群数	油膜の有無	COD	透明度
適	水質AA	不検出	2mg/L以下 (湖沼:3mg/L以下)	1m以上
	水質A	100個/100mL以下		
可	水質B	400個/100mL以下	5mg/L以下	50cm以上
	水質C	1,000個/100mL以下	8mg/L以下	1m未満
不適	1,000個/100mLを超えるもの	常時油膜が認められる	8mg/L 超	50cm未満

注1)判定は、同一水浴場に関して得た測定値の平均による。
 注2)「不検出」とは、平均値が検出限界(2個/100mL)未満のことをいう。
 注3)透明度「50cm未満」に関しては、砂の巻き上げによる原因は評価の対象外とする。

最近5年間の盛夏(7月~8月)における糞便性大腸菌群数をみてみると、大阪府域、奈良県域とも10,000個/100mL近くまで検出されることもある(図-4)。

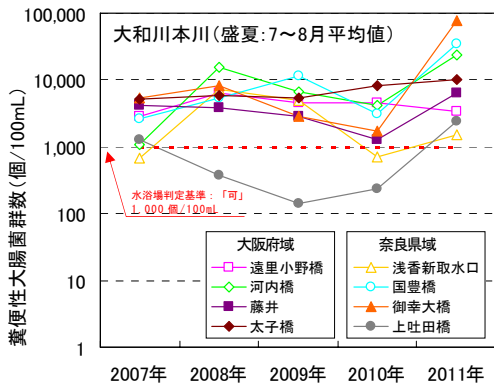


図-4 糞便性大腸菌群数【盛夏(7~8月平均値)】

4. 糞便性大腸菌群の由来調査

糞便性大腸菌群の大半を占める大腸菌は、人やその他の温血動物によってDNAのバンドパターンが異なるため、DNA分析によって由来(起源)を把握することが可能である。

由来調査にあたって、あらかじめ京都大学米田研究室が、ヒト、ウシ、ブタ、ニワトリの大腸菌DNAバンドパターンを調査し、それと大和川の各地点で採取した大腸菌のDNAバンドパターンを比較し、相同性(similarity scores)が80%を超えるものを、その動物が起源であると判定した(図-5)。

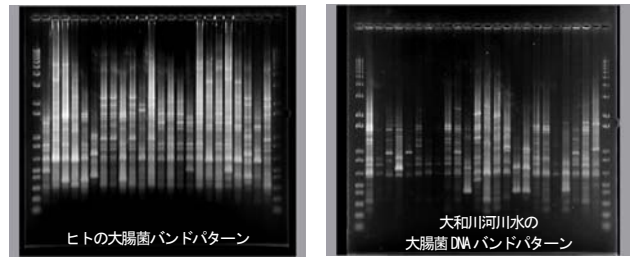


図-5 DNAフィンガー・プリンティングによるDNAバンド

調査地点は、大和川本川4地点(御幸大橋、藤井、河内橋、遠里小野橋)、支川2地点(佐保川-郡界橋、曾我川-小柳橋)とし、調査時期による違いも確認するため、8月、11月に調査を実施した(図-6)。

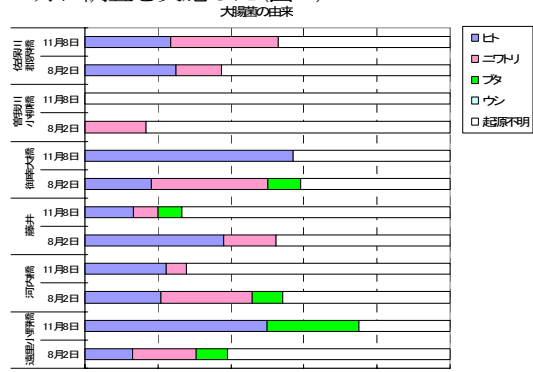


図-6 大和川水域の大腸菌の由来調査結果

大和川水域では、ヒト、ブタ、ニワトリ由来の大腸菌が検出されており、ウシについては、本調査では確認できなかった。ブタは飼育地域が限定されており(天理市、桜井市など)、佐保川や曾我川では検出されていない。大和川水域では御幸大橋から下流の水域で検出されている。ニワトリが奈良県全域と大阪府域の一部で飼育されているため、大半の地点で検出されている。

大腸菌には交雑種(ヒト起源と家畜起源等)の存在もあり、今回のDNA分析で起源不明となったものも少なくないと考えられる。大腸菌のDNAのみに特異的に結合するプライマー(DNAを複製する場合の足場となる塩基配列)を用いたリアルタイムPCRを行うなど、起源不明の割合を少なくするプライマー設計の改良も必要と考えている。

5. 降雨時における糞便性大腸菌群数の調査

現在、河川で実施されている水質調査は、「採水日は、採水日前日において比較的晴天が続き水質が安定している日を選ぶこと」とされているため、降雨中の糞便性大腸菌群数がどのように変化しているかが把握できていない。また、既往の研究¹⁾のように合流式下水道の雨天時越流水が河川に流入したとき、大腸菌群数が増加するという結果が出ているため、降雨時の糞便性大腸菌群数の調査を実施することとした。

(1) 調査方法

夏期の2降雨について、流出の初期から降雨終了後の水位低減期までの期間で、1降雨あたり10サンプル程度採水及び水質分析を行った。調査地点は、本川3地点(藤井、河内橋、遠里小野橋)及び佐保川の郡界橋の4地点、調査項目は、糞便性大腸菌群数にあわせて、水温、SSを測定した。なお、合流式下水道の雨天時越流水の流入もある佐保川の郡界橋については、降雨による水位上昇が早いため、自動採水機を設置して、降雨初期の流出水を自動採水した(図-7)。



図-7 調査地点及び自動採水機

(2) 調査結果の考察

調査した4地点全てで降雨初期に糞便性大腸菌群数が急増する現象が確認できた。ここで降雨初期の水位上昇期のSSと糞便性大腸菌群数(図-8)に着目すると、SSがあまり上昇していないことに比べて糞便性大腸菌群数の上昇する割合が大きく、自動採水機の採水開始時刻20:00では糞便性大腸菌群数は420個/100mL、採水開始から20分後には1,200個/100mL、40分後には8,800個/100mL、1時間20分後には16,000個/100mLにまで上昇している。

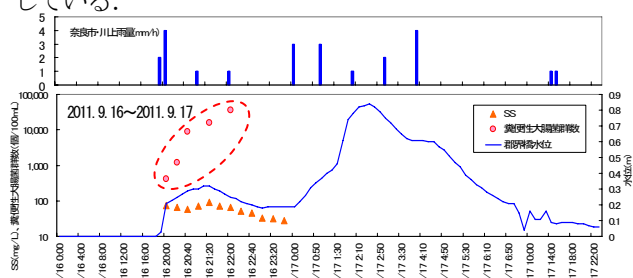


図-8 郡界橋における降雨時の変化(自動採水機)

これは、集水区域に存在している糞便性大腸菌群が、降雨によって河川に流入するよりも早く、河床付近に存在する糞便性大腸菌群の舞い上がりによって、河川水中の検出数が増えていることが考えられる。

既往の調査研究文献²⁾では、糞便性大腸菌は河川への排出経路や河川等の河床付近の微生物膜や底泥等で増殖する可能性があるとしており、河床環境の糞便性大腸菌群にも関心を払う必要がある。

次に、降雨後の水位低減期間(図-9)に着目すると、糞便性大腸菌群数は徐々に数が減少するが、しばらくすると、少し増えており、既往の研究の通り、河道内で増殖している可能性も考えられる。

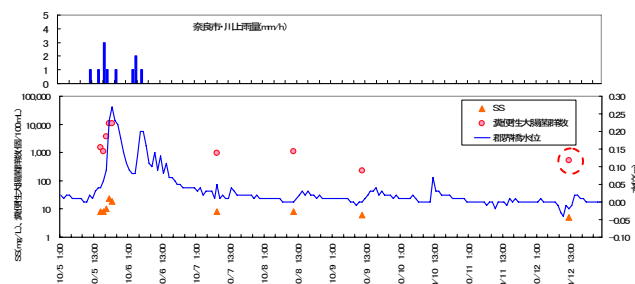


図-9 佐保川・郡界橋における降雨時の変化

6. 流量・水温モデルの検討

(1) 流量・水温モデルの作成方針

大和川流域における糞便性大腸菌の削減対策に資する数値解析モデルの概要と目標を図-10に示す。

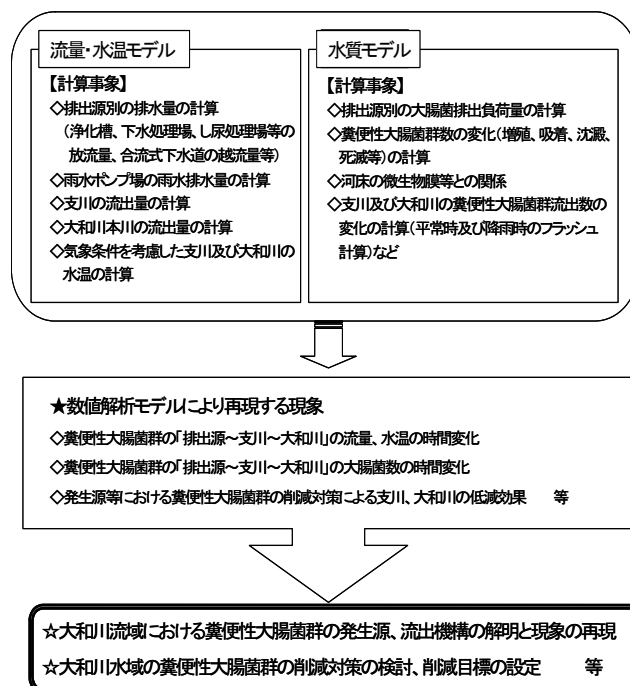


図-10 数値解析モデルの概要と目標

河床環境の糞便性大腸菌群が存在する底泥や微生物膜等は、増水により河床環境から剥離するため、増水初期から河川水中の糞便性大腸菌群数は急増するが、増水後は希釈効果も加わり低減する。増水によってフラッシュアウトされた河床環境には、徐々に底泥の堆積や微生物膜等が再び形成され、河床環境中の糞便性大腸菌群数も徐々に増加する。

また、河床表面の微生物膜の形成や、ヒトや家畜などを起源とする糞便性大腸菌群の活性は水温の影響を受けるため、河床環境中の糞便性大腸菌群数の増減には河川水の水温も密接に関わっていると考えられる。

大和川の糞便性大腸菌群数の挙動を解明し、効果的な削減対策を検討するために活用する数値解析モデルの構築には、糞便性大腸菌群の物質循環に密接に関連する流量や水温に着目する必要がある。

このため 2011 年度は、大和川本川及び支川の 1 年間の流量変化と水温変動を再現できる「流量・水温モデル」を構築し、大和川本川及び支川の観測データを用いて再現性の検証を行った。

流量・水温モデルとして分布型モデルを適用し、図-11 のフローに基づき大和川の流量・水温モデルを作成した。

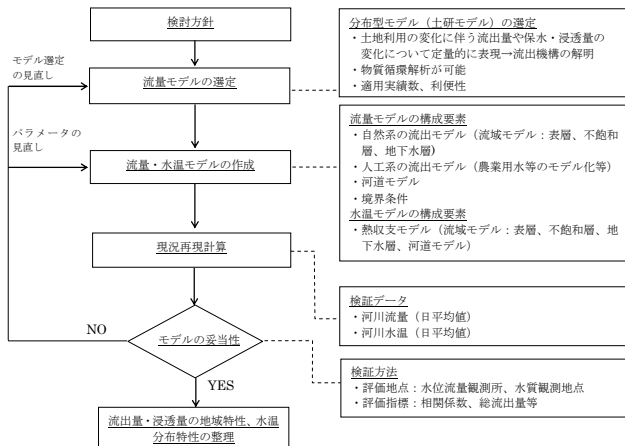
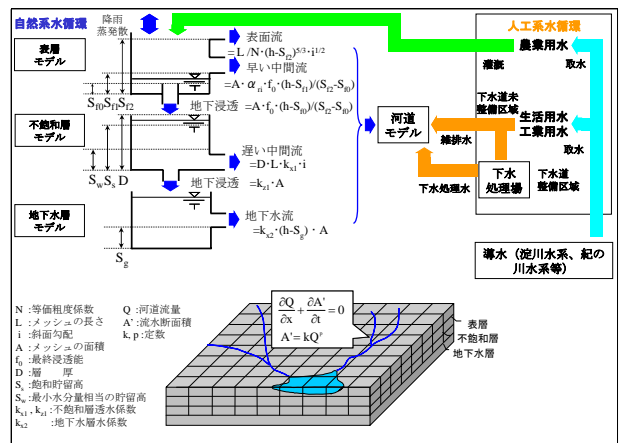


図-11 流量・水温モデルの作成フロー

選定した分布型モデル(土木研究所モデル)は流域内の全メッシュに鉛直方向に並べられた 3 層のモデル(表層、不飽和層、地下水層モデル)と河道モデルからなる(図-12)。特徴としては、各層のパラメータを設定することにより土地利用、土壌、表層地質の水文学的な特性を反映できることが挙げられる。人工系水循環は、流域内の全メッシュにおける生活系、工業系、農業系の取排水量及び下水処理水量を定量化し、自然系水循環に人工系水循環を境界条件として設定した。

なお、佐保川流域の一部の合流式下水道区域(8.7 km²)では、降雨規模に応じた合流式下水道の雨天時越流量を算出する方法を採用している。



・大気との熱の授受は表層及び河川水面で行う。
・熱の移動は水を媒体とした移動(移流)と熱伝導(拡散)を考慮し、熱収支式計算を行う。

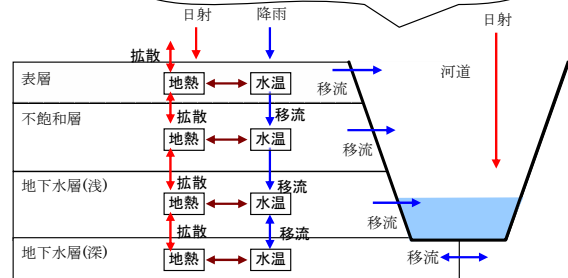


図-12 流量・水温モデルの概要図

(2) 流量・水温モデル作成のポイント

a) メッシュ分割

本検討では大和川流域(1,070km²)を対象流域として流量モデルを構築した。メッシュサイズとして 250m メッシュを採用し、対象流域を 16,176 メッシュに分割した。

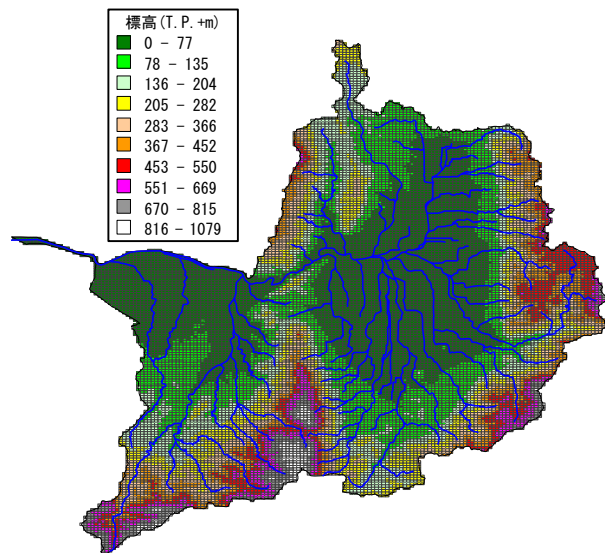


図-13 メッシュ標高図

b) 定性的なパラメータ設定

降雨の浸透及び流出の度合いを規定する各層モデルのパラメータについて、表層モデルは土地利用分類データから土地利用別に 5 分類に、不飽和層モデルは土壌データ、地下水層モデルは表層地質データから浸透性の度合い別に 3 分類に設定し、定性的に与えた。

c) Penman 式を用いた蒸発散量の算定

気象データ(気温, 風速, 日照時間, 湿度)をもとに, Penman 式(空気力学法+熱収支法)を用いて日々の各メッシュの蒸発散量を算定し, 表層モデルの水分量から差し引いた。

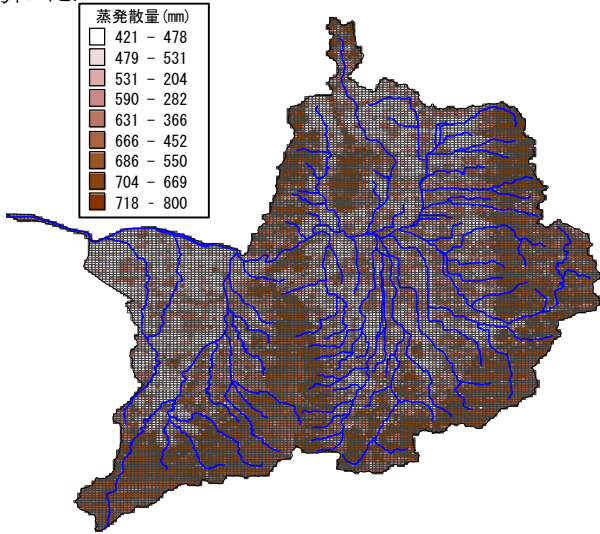


図-14 年蒸発散量分布図(2003年~2007年の平均)

d) 取排水量(人工系水循環量)の定量化

モデルの境界条件として, ダム放流量, 人工系取排水量等を設定した。人工系取排水量については, 生活系, 畜産系, 農業系の取排水量を対象とし, 国勢調査地域メッシュ統計データ, 下水道整備区域図, 灌漑区域図を用いて, 各メッシュの取排水量を定量化した。

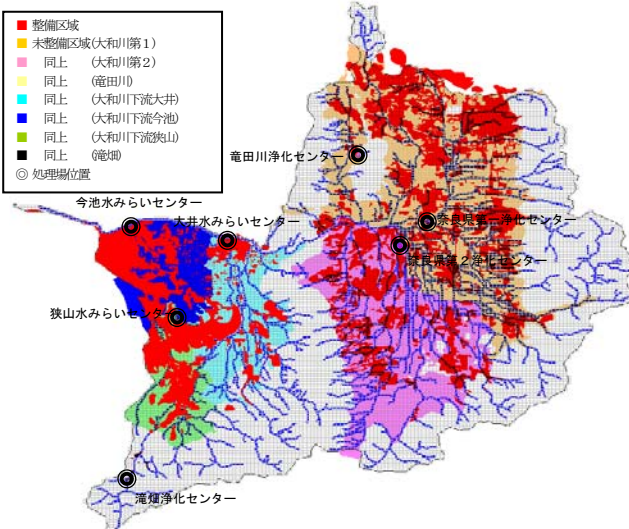


図-15 下水道整備区域図

(3) 流量・水温モデルの検証

2003年から2007年の5年間において, 河川流量・水温を検証データとして, 流量・水温モデルの現況再現シミュレーションを実施した。

河川流量の検証結果について, 図-16より計算流量波形は実測値を再現できていると考えられる。また, 図-17より計算流量の総流出量誤差は柏原地点で8%, 藤井

地点で-3%となっており, 比較的小さいと考えられ, 流出計算モデルは概ね良く再現できた。

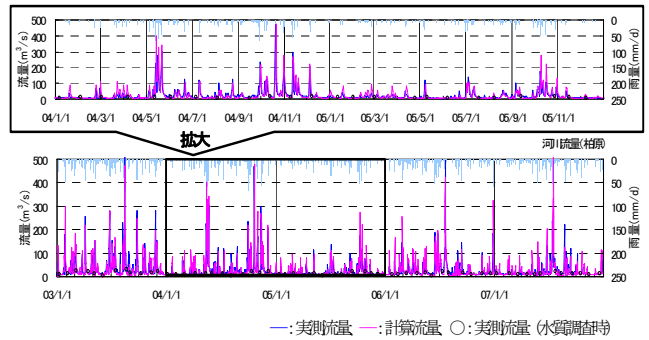


図-16 河川流量の再現結果

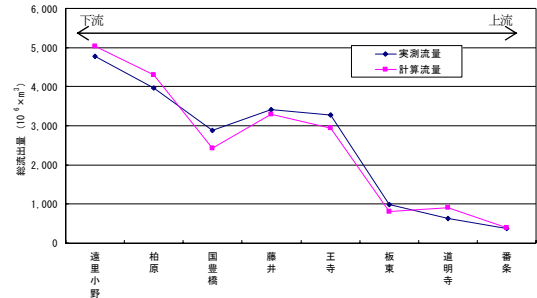


図-17 総流出量の比較(2003~2007の5カ年の合計)

河川水温の検証結果についても, 図-18より河内橋(柏原近傍)地点の実測値を再現できていると考えられる。

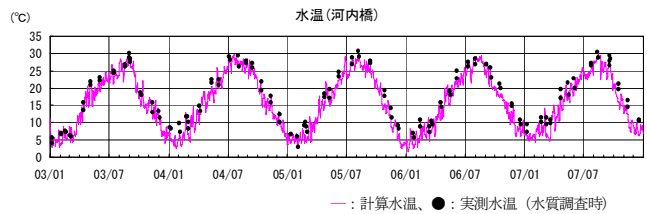


図-18 河川水温の再現結果

この再現結果について, 図-19に実測水温と計算水温の相関図を示す。糞便性大腸菌群の増殖等が顕著となる水温 20°C以上を対象とした場合, 計算水温と実測水温の相関係数 R は約 0.8 であり, 糞便性大腸菌群の増殖速度や死滅速度に係る河川水温(20~30°C等)の再現性は妥当であると考えられる。

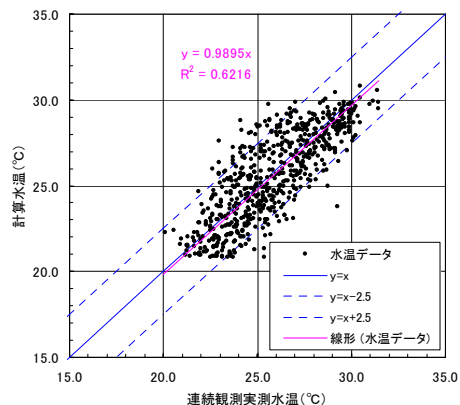


図-19 実測水温と計算水温の相関図

7. まとめと今後の課題

河川水中における糞便性大腸菌群の挙動はまだまだ解明できていないことも多いが、降雨時における糞便性大腸菌群数の調査から、河床生物膜や底泥中での増殖機構にも注視し、調査検討を継続する必要がある。

河川水中の糞便性大腸菌群の変化には流量(希釈、沈降・吸着、巻き上げ等)と水温(増殖速度、死滅速度等)が関連しており、流量・水温モデルによる計算結果を利用し、2012年度には糞便性大腸菌群モデル(数値解析モデル)を構築する予定である。

また、畜産由来の糞便性大腸菌群の発生源や排出経路については、関係機関から情報収集を行い、家畜の排せつ物の処理方法や発生源及びその排出経路の精査を行う必要がある。特に、鶏糞については、河川水中の大腸菌DNA分析を行ったところ検出割合が多かったことから、鶏糞の処理形態、利用地域の範囲などの情報も収集整理し、糞便性大腸菌群モデルに反映する必要がある。

こうした調査検討については、学識者や公衆衛生の専門家の助言やアドバイスも受けて推進することが重要であり、2011年度、大和川水環境協議会に「糞便性大腸菌群調査研究プロジェクトチーム(水環境アドバイザー、公衆衛生分野の専門家、大和川河川事務所)」を設立した。

今後の調査研究の内容や調査方法等については「糞便性大腸菌群調査研究プロジェクトチーム」の助言や指導を受けて実施していく(図-20)。

2013年度の成果とりまとめに向けて調査研究を推進するとともに、糞便性大腸菌群の削減方策を立案し、子どもたちがかつて大和川で水遊びをしていたときにように、遊べる大和川を目指すべく、流域一体となって取り組んでいきたいと思う。

謝辞: 本文で述べた研究等について、京都大学・米田教授・松井講師をはじめとする関係各位からの多大なご指導、ご協力を頂いたことに心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 和波ら: 「雨天時における河川水質の変化」, 日本水環境学会 第46回日本水環境学会年会講演集, 2012.3
- 2) 吉野, 広谷: 「河床生物膜に存在する大腸菌の水質指標への影響」, 日本陸水学会近畿支部 第19回研究発表会資料, 2008.3

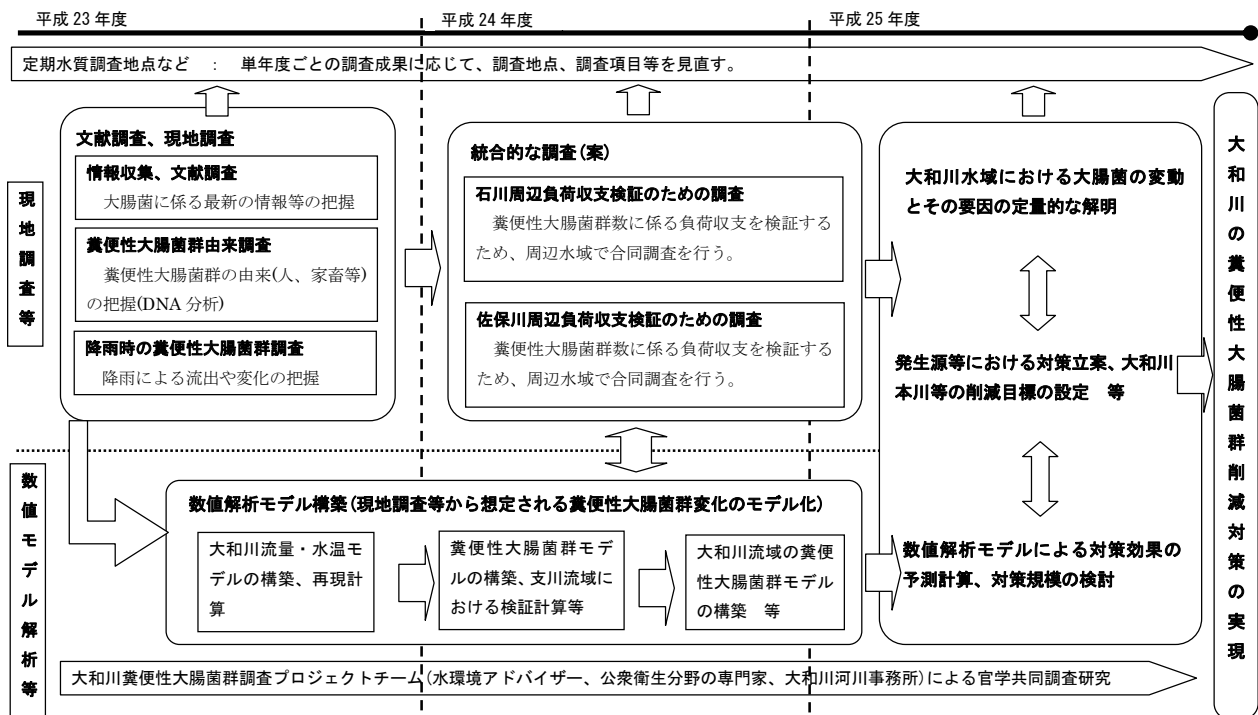


図-20 糞便性大腸菌群に関する調査研究 (3ヶ年スケジュール)