

博 士 論 文

流域総合管理に資する 電気伝導率を指標とした効率的な 河川・流域の調査手法に関する研究

2020年1月

吉 川 慎 平

目 次

第1章 序論 研究の背景と目的.....	7
1.1 水循環基本法の制定と流域総管理化	7
1.1.1 流域における水循環の複雑化・広域化.....	7
1.1.2 河川管理から流域管理へ	7
1.1.3 流域の水循環における地下水管理.....	8
1.1.4 水循環基本法の制定	8
1.1.5 流域管理から流域総管理へ	8
1.2 流域総管理化に資する流域情報管理の必要性	8
1.2.1 流域総管理化における水循環・物質循環の定量化.....	8
1.2.2 流域情報管理の基盤としての水循環機構(流域構造)の実態把握	9
1.2.3 流域の水循環の実態としての水収支・物質収支と水文・水質データ	9
1.2.4 既存の水文・水質データ管理における課題と流域情報管理の必要性.....	9
1.2.5 矢作川流域を例にみる河川管理と水文データ管理の実態.....	9
1.3 マルチスケールでみた流域情報管理の実態.....	10
1.3.1 既存水文・水質観測点の空間密度	10
1.3.2 マルチスケール(マクロ～ミクロ)での河川・流域の捉え方	10
1.3.3 ローカルな水文・水質データの不足	10
1.3.4 既存の観測体制の維持・拡充における課題.....	11
1.3.5 情報が不足した現場への適用を想定した効率的調査スキームの必要性	11
1.4 河道縦断における河道水理特性の事前的調査スキーム(開発済み)	11
1.4.1 開発したスキームの概要	11
1.4.2 研究の背景と目的	11
1.4.3 調査対象地の概要と調査方法の検討.....	12
1.4.4 縦断水位連続観測による河道水理特性の把握	13
1.4.5 河川環境創出スキームへの実装の検討	17
1.4.6 縦断水位連続観測の適用方法の実際	19
1.4.7 まとめと今後の課題	20
1.5 河道縦断における非明示的な湧水ポテンシャルの調査スキーム(開発済み)	20
1.6 低コストで実施可能な流域構造(水循環機構)と実態としての水収支・物質収支の概況を捉える導入的調査スキーム(本研究)	20
1.6.1 開発するスキームの概要.....	20
1.6.2 水収支・物質収支共通のインジケータとしての電気伝導率への注目	21
1.7 研究目的と方法	21
1.8 研究の位置づけ	22
1.9 論文の構成	22
1.9.1 全体構成.....	22
1.9.2 電気伝導率を用いた調査手法の整理と優位性 <第1部・1,2章>	22
1.9.3 情報が不足した河川・流域の導入的調査スキームの実践的開発と提案 <第2部・3,4章> ...	22
1.9.4 電気伝導率測定値の相対評価に資する全国版データベースの整備検討<第3部・5,6章> .	23
1.10 参考文献(第1章)	23

1.11 関連発表・論文	24
第2章 電気伝導率を用いた調査手法の整理と優位性	25
2.1 本章の目的	25
2.2 電気伝導率に関する文献・資料(先行研究)調査	25
2.2.1 文献調査概要と方法	25
2.2.2 文献調査結果	25
2.2.3 資料調査概要と方法	26
2.2.4 資料調査結果	26
2.2.5 文献・資料調査のまとめ	26
2.3 電気伝導率と溶存イオン	27
2.3.1 電気伝導率の呼称	27
2.3.2 電気伝導率の単位と表記方法	27
2.3.3 電気伝導率とは	27
2.3.4 溶存イオンと水の電気伝導性	28
2.3.5 指標としての硬度と電気伝導率	28
2.3.6 溶存イオンの保存性と電気伝導率	28
2.3.7 純水・理論純水と電気伝導率	28
2.3.8 電気伝導率測定値の目安	29
2.3.9 環境水におけるバックグラウンドの影響と電気伝導率	31
2.4 電気伝導率の測定法と電気伝導率計	31
2.4.1 JISによる電気伝導率の測定法	31
2.4.2 日本薬局方(JP)による電気伝導率の測定法	31
2.4.3 温度補正とキャリブレーション	31
2.4.4 電気伝導率が利用されている場面	32
2.4.5 電気伝導率計のバリエーションと特徴	32
2.5 電気伝導率の利用法と優位性	34
2.5.1 電気伝導率測定の特長・留意点	34
2.5.2 文献・資料調査にみる EC の利用法と利用事例	34
2.5.3 一般水質調査・スクリーニング的利用法	34
2.5.4 水質(水塊)差を捉えるセンサー的利用法	35
2.5.5 その他参考になる利用法・事例	37
2.5.6 電気伝導率の優位性	38
2.6 電気伝導率測定値の評価と課題	38
2.6.1 電気伝導率測定値の評価と各種水質(環境)基準	38
2.6.2 水質基準として用いられたケース	38
2.6.3 電気伝導率測定値の絶対評価と相対評価	39
2.7 電気伝導率の可能性と検討の方向性	39
2.7.1 河川・流域における電気伝導率を用いた調査法の実践的検討と調査スキームの開発	39
2.7.2 電気伝導率測定値の評価に資する全国版データベースの整備検討	39
2.8 本章のまとめ	40
2.9 参考文献(第2章)	40

第3章 河川・流域における電気伝導率を用いた調査法の実践的検討	43
3.1 本章の目的	43
3.2 本検討における対象地(河川・流域)の全体像	43
3.2.1 調査対象地の分布(エリア)	43
3.2.2 調査対象期間	43
3.3 フィールド 1:矢作川本川中流・白浜地先周辺(愛知県豊田市)	43
3.3.1 対象地の概要と検討課題	43
3.3.2 調査(研究)目的	44
3.3.3 調査(研究)方法	44
3.3.4 調査結果と考察	45
3.3.5 まとめと今後の課題	47
3.3.6 成果の公表とリアクション(議論と課題)	47
3.3.7 参考文献(3.2)	47
3.3.8 関連発表・論文	48
3.4 フィールド 2:荒川水系落合川と南沢湧水群(東京都東久留米市)	48
3.4.1 対象地の概要と検討課題	48
3.4.2 調査(研究)目的	50
3.4.3 調査(研究)方法	50
3.4.4 調査結果と考察	50
3.4.5 まとめと今後の課題	51
3.4.6 成果の公表とリアクション(議論と課題)	52
3.4.7 参考文献(3.3)	52
3.4.8 関連発表・論文	52
3.5 フィールド 3:木曽川水系津屋川流域(岐阜県養老町・海津市)	52
3.5.1 対象地の概要と検討課題	52
3.5.2 調査(研究)目的 ハリヨ生息地保全を目的とした湧水機構の推定	54
3.5.3 調査(研究)方法	54
3.5.4 調査結果	54
3.5.5 湧水ポテンシャル分布の評価と生息場回復の優先箇所検討	58
3.5.6 河道縦断における湧水ポテンシャル分布の評価手法	62
3.5.7 まとめと本手法の優位性	63
3.5.8 成果の公表とリアクション(議論と課題)	63
3.5.9 参考文献(3.4)	63
3.5.10 関連発表・論文	64
3.6 フィールド 4:利根川水系霞ヶ浦(西浦)と桜川流域(茨城県)	64
3.6.1 対象地の概要と検討課題	64
3.6.2 調査(研究)目的	66
3.6.3 調査(研究)方法	66
3.6.4 調査結果と考察	67
3.6.5 まとめと今後の課題	69
3.6.6 成果の公表とリアクション(議論と課題)	70
3.6.7 参考文献(3.5)	70
3.6.8 関連発表・論文	70
3.7 フィールド 5:矢作川流域全体(愛知県・岐阜県・長野県)	71

3.7.1	対象地の概要と検討課題	71
3.7.2	調査(研究)目的	72
3.7.3	調査(研究)方法	72
3.7.4	調査結果	73
3.7.5	本川水質に対する支川水質の影響の検討	76
3.7.6	まとめと今後の課題	79
3.7.7	成果の公表とリアクション	79
3.7.8	参考文献(3.5)	79
3.7.9	関連発表・論文	79
3.8	各対象地における成果と課題・議論の総括	80
3.8.1	4水系5現場における指標としてのECの活用と成果	80
3.8.2	各フィールドにおける実践の全体総括とECの利用スキーム	82
3.8.3	情報不足な河川・流域の導入的調査スキームとしての提案 (⇔4章)	82
3.8.4	EC測定値の相対評価に資するデータベース化の必要性 (⇔5・6章)	82
3.9	本章のまとめ	83
3.10	参考文献(第3章・総論部分)	83
第4章	電気伝導率を指標とした情報不足の河川・流域の導入的調査スキームの提案	84
4.1	本章の目的	84
4.2	本スキームの位置付けと目的	84
4.3	本スキームの特徴と適用が想定される現場・ケース	84
4.4	本スキームの現場への適用の実際	85
4.5	対象河川・流域に関する情報収集とプラットフォーム整備(調査準備)	87
4.5.1	河川・流域における水循環機構(流域構造)の把握	87
4.5.2	既存水文・水質データの収集 (⇔5・6章)	87
4.6	EC(水質)を指標とした導入的調査(フェーズ1)	88
4.6.1	水質調査における共通事項	88
4.6.2	水質調査地点の設定方法	89
4.6.3	調査結果の整理と簡易評価	90
4.6.4	既存水文・水質データの参照 (⇔5・6章)	90
4.6.5	水質(EC)の結果の捉え方	90
4.6.6	繰り返しの調査	91
4.6.7	追加・オプション的調査	91
4.7	水質(EC)データのみを用いた流量比(支川インパクト)の検討(フェーズ2)	92
4.7.1	本川に対する支川(横流入水)インパクト	92
4.7.2	結果の捉え方	93
4.8	水文の検証のための流量観測・オプション(フェーズ3)	94
4.8.1	水質(EC)データを用いた流量観測地点の絞り込み	94
4.8.2	流量観測地点の設定方法	94
4.8.3	流量観測の実施と必要資機材	94
4.8.4	調査結果の整理と簡易評価	95
4.8.5	流量と水質(電気伝導率)の結果の捉え方	95
4.8.6	繰り返しの調査(2)	95

4.8.7	追加・オプション的調査	96
4.8.8	ECと流量データを用いた横流入水のECと量との推定	96
4.9	本スキームの優位性	96
4.10	本章のまとめ	96
4.11	参考文献(第4章)	96
4.12	関連発表・論文	96
第5章	電気伝導率測定値の評価に資する全国版データベースの整備検討	97
5.1	本章の目的	97
5.2	電気伝導率測定値データベース(仮)の必要性	97
5.3	電気伝導率の全国版データベースのイメージ(構想)	97
5.3.1	既存の水質関係データベース	97
5.3.2	データベースの具体的イメージ(構想)	98
5.3.3	環境省「水環境総合情報サイト」拡充への期待と現状	98
5.4	データベースの整備により期待される効果	99
5.4.1	必要性として挙げられた点の解決	99
5.4.2	調査対象フィールド周辺の(事前的)情報の獲得	99
5.4.3	調査対象フィールドから得られた測定値の全国・地方・地域的な位置付けの確認	99
5.4.4	マルチスケールでの測定値のレベル・トレンド(バックグラウンド)の可視化	99
5.4.5	環境水の調査指標としての電気伝導率の活用・普及の促進とデータの蓄積	99
5.5	コアデータとしての「公共用水域の水質測定結果」への注目	99
5.5.1	データベースへの収録(収集)とコアデータの検討	99
5.5.2	公共用水域の水質測定とは	99
5.5.3	公共用水域の水質測定結果の活用	100
5.5.4	その他のデータ	100
5.6	任意地点での電気伝導率データの収集	100
5.7	本章のまとめ	100
5.8	参考文献(第5章)	100
第6章	全国47都道府県の公共用水域(河川・湖沼)の電気伝導率実態把握	102
6.1	本章の目的	102
6.2	全国の公共用水域(河川・湖沼)の水質測定結果データの収集による実態把握	102
6.2.1	調査対象と期間	102
6.2.2	調査方法	102
6.2.3	調査結果	103
6.3	全国版データベース整備に向けた課題・問題点	103
6.3.1	電気伝導率データの存在・不存在と地域的偏重	103
6.3.2	測定回数等のバラツキ	104
6.3.3	公共用水域水質測定結果公表における課題	104
6.4	公共用水域(河川・湖沼)の水質測定結果にみる電気伝導率の実態	105
6.4.1	GIS(地理情報システム)を用いた空間的可視化	105
6.4.2	統計値の算出とボックスプロット(箱ひげ図)による傾向の分析	107

6.4.3	まとめと今後の課題	108
6.4.4	成果の公表とリアクション	109
6.5	空間的補完のための任意地点調査による実態把握	109
6.5.1	調査対象と期間	109
6.5.2	調査方法	109
6.5.3	調査結果	109
6.6	任意地点調査結果にみる電気伝導率の実態	109
6.6.1	GIS(地理情報システム)を用いた空間的可視化	109
6.6.2	特徴的な測定値の検知	111
6.6.3	公共用水域水質測定結果(年間変動幅)との対応	113
6.6.4	まとめと今後の課題	113
6.7	河川・流域における電気伝導率測定値の読み方・捉え方と現時点での傾向	114
6.7.1	電気伝導率測定値の読み方・捉え方	114
6.7.2	結果としての空間的傾向	114
6.7.3	結果としての時系列傾向	115
6.7.4	結果としての統計的傾向	115
6.7.5	電気伝導率の限界と因果関係に関する詳細調査・分析例	115
6.7.6	地点・時間網羅性の限界と地点代表性	116
6.7.7	EC データベース化の試行のまとめ	116
6.8	流域・河川の導入的調査スキーム(4章)へのフィードバック	117
6.8.1	調査対象予定フィールド周辺の事前的情報(地域限定)	117
6.8.2	調査対象フィールドから得られた測定値の地域的な位置付け(地域限定)	117
6.9	本章のまとめ	117
6.10	参考文献(第6章)	117
6.11	関連発表・論文	117
第7章	結論 まとめと今後の課題・展望	119
7.1	研究の背景・目的と電気伝導率を用いた従来調査法の整理 <第1部・2章>	119
7.2	情報が不足した河川・流域の導入的調査スキームの実践的開発と提案 <第2部・3～4章>	119
7.3	電気伝導率測定値の相対評価に資する全国版データベースの整備検討 <第3部・5～6章>	119
7.4	まとめと総合考察	120
7.5	今後の課題と展望	120
7.6	参考文献(第7章)	121
	関連論文・発表(総括)	122
	謝辞	125
	付帯資料1	126
	付帯資料2	132

第1章 序論 研究の背景と目的

1.1 水循環基本法の制定と流域総管理化

1.1.1 流域における水循環の複雑化・広域化

「流域」とは集水域とも呼ばれ、一般に河川(水系)が地表に降った水(表流水)を集めている範囲を指す。よって陸上のほとんどの場所が、大小いずれかの河川の流域に属していることになる。流域の範囲は自然の地形(起伏)によるところが大きい、近世における「利根川の東遷」に代表されるように、治水・利水面での人工的な改変(河道の付け替え)等により歴史的に変遷(流域変更)されたケースもある。

「流域における水循環(水文循環)」とは、流域を原単位とし、降水、蒸発散、貯留、流出といった水文プロセスにより生じた水が、河川や湖沼を経て海域へと至る一連のプロセスを指す。一方で図 1-1 に示すように様々な水利用や水処理のための人工的な機構も構成要素として加わる。

今日の流域の水循環は都市の発展や生活水準の向上と共に複雑化し、また自然の流域を超えて広域化している。水利用では河川や湖沼から水路等を介して、水利に恵まれない地域(台地上や半島部、島嶼等)、あるいは大都市や工業地帯等の水需要の高い地域への流域外導水(広域導水)が実施されているケースもある。このような自然の流域の外側であるが、当該河川(流域)の恩恵を受ける範囲を含めた用語として「流域圏」がある。また水処理では流域下水道に代表される河川とは別系統の水路の整備が実施されているケースもある。流域の水循環の動態を捉えるためには、このようなインフラ(社会基盤)関係にも注目をする必要がある。



図 1-1 流域における水循環(水文循環)のイメージ

画像出典:水循環基本法・水循環基本計画の概要(内閣官房水循環政策本部事務局)¹⁾

1.1.2 河川管理から流域管理へ

流域や流域の水循環を形成する骨格は河川(湖沼)であり、流水の管理は河川法(水利使用規則)に基づき、河川管理行政の一環として実施されており、流水の使用許可は慣行分を除き河川管理者(国土交通大臣)による²⁾。一方で流域における水循環の複雑化、広域化に伴い、河川や流域の管理に関わるステークホルダー(利害関係者)の数も拡大している。実際に主要な一級水系レベルともなると、河川管理に限っても国土交通省をはじめ、複数の都道府県、市町村が関与することになる。更には水力発電施設があれば電力会社が、農業用水施設があれば土地改良区が、漁協権の設定があれば漁業協同組合等、調整が必要な機関は多岐にわたる。そのため単体の河川管理ではなく、上流・下流、支川・本川等の接続(整合性)を考慮した、広域的な流水管理と河道整備等が必要になる。加えて、1997 年の河川法の改正により「河川整備計画」の策定においては、市町村や市民等の地域の意見を反映することが求められている。その他にも河道における総合土砂管理や環境面(生態

系の保全や外来種対策)等、河川管理者単独では解決できない問題が顕在化しており、水系一貫での「流域管理」の必要性が問われるようになった。流域管理の先進事例としては近畿地方の淀川(琵琶湖)水系、中部地方の矢作川水系、関東地方の鶴見川水系等が名高い。

1.1.3 流域の水循環における地下水管理

1.1.2 で示したとおり河川・湖沼における流水(表流水)については、河川法(水理使用規則等)により厳しく規制されているが、流域の水循環における課題としては地下水管理が挙げられる。

地下水、伏流水は、地表に湧水環境をもたらす他、安定的な水資源として利用されている。しかし、表流水同様に有限な資源ではあるが、地下水は基本的に井戸を設けることで自由に揚水可能であり、かつては過剰揚水による地下水の枯渇や地盤沈下等の深刻な問題を生んできた。現在は揚水規制等により「地下水保全」が進められ、利用に関しては一定の規制が働いている。

しかし一方で揚水規制の結果、都心部等では地下水位が回復し、地下施設への漏水、浮力による構造物の破壊が懸念されている。このような状況から現在は揚水規制だけではなく、適正な範囲で積極的に地下水を利用すべきとの意見もある。また最近では海外資本等による地下水採取を目的とした水源域の土地取得が報道されている。流域の水循環の動態を捉えるためには、地下水・伏流水等についても注目する必要がある。

1.1.4 水循環基本法の制定

以上を背景として2014年3月27日に「水循環基本法(案)」が衆議院本会議を全会一致で議了し、4月2日公布、7月1日に施行された。第1条においてその目的を「水循環に関する施策を総合的かつ一体的に推進し、もって健全な水循環を維持し、又は回復させ、我が国の経済社会の健全な発展及び国民生活の安定向上に寄与すること」としている。また第3条に5つの基本理念として、①水循環の重要性、②水の公共性、③健全な水循環への配慮、④流域の総合的管理、⑤水循環に関する国際協調とあり、ここで「流域管理」が法的にも明確に打ち出された³⁾。

1.1.5 流域管理から流域総管理へ

水循環基本法の5つの基本理念のうち、流域の総合的管理(以下、流域総管理)の説明として、「水は、水循環の過程において生じた事象がその後の過程においても影響を及ぼすものであることに鑑み、流域に係る水循環について、流域として総合的かつ一体的に管理されなければならない」とある³⁾。

また内閣に設置された水循環政策本部の事務局(内閣官房水循環政策本部事務局)により作成された「水循環基本計画¹⁾」には、第2部「水循環に関する施策に関し、政府が総合的かつ計画的に講ずべき施策」の一番目に「流域連携の推進等―流域の総合的かつ一体的な管理の枠組み」において、流域総管理の考え方と流域水循環計画策定についての概念が記述されている。また「水循環基本計画のポイント」においては、「流域単位で水循環計画を新たに策定」と掲げられており、国、地方公共団体、事業者、団体、市民等が一体となり、流域水循環協議会を設置し、総合的な流域水循環計画を策定すること。森林、河川、農地、下水道、環境等の水循環に関する各種施策について関係者間で協力することとしている。つまり流域の利害関係者が協議の場を持ち、計画を策定した上でそれぞれが推進する施策を互いに協力して実施するというものである。

1.2 では以上を受け従来の「河川管理」、「流域管理」をベースに、流域における水循環を中心に据え、地下水や中小河川等の管理を含めた「流域総管理」化への課題を挙げ、必要な具体的方策について述べる。

1.2 流域総管理化に資する流域情報管理の必要性

1.2.1 流域総管理化における水循環・物質循環の定量化

国(内閣府)主導による「水循環基本法」、「水循環基本計画」の理念については大いに評価できるが、目的である「健全な水循環の維持又は回復」を達成するためには、複雑化、広域化した水循環機構(流域構造)の実態を把握するとともに、流域の水循環を水収支、物質循環を物質収支として定量化し、得られたデータに基づく議論が必要不可欠と考える。

実際に「水循環基本計画（2-6-1）¹⁾」においては、第2部「水循環に関する施策に関し、政府が総合的かつ計画的に講ずべき施策」の6節「水循環施策の策定及び実施に必要な調査の実施」の1項「流域における水循環の現状に関する調査」に、水質・水量調査、水資源調査、生物調査、地下水、雨水・再生水利用、調査結果の公表及び有効活用について列挙されている。いずれも質的・量的な実態調査が提唱されている。

しかしながら、現状これらの定量化、定量的評価プロセスを実際（個別）の流域にブレイクダウンして「水循環計画」を策定する段階では、流域の水循環・物質循環の実態としての水収支・物質収支を捉えた上で、どのような状態を「健全」とするのかという目標を明確にし、その上で現状について評価・検証する必要がある。しかしながら、その具体的なスキームまでは示されていない状況にある。

1.2.2 流域情報管理の基盤としての水循環機構（流域構造）の実態把握

1.1.1 でも示したとおり、流域（圏）の水循環は複雑化、広域化しており、まずは基盤情報として流水の流れをトレースし、水循環機構（流域構造）の実態を把握する必要がある。これは河川・湖沼に加え、各種用排水路における水の出入り、大規模な地下水の揚水等を含めたものである。その実態としては、流域の河川水を集めるのみのシンプルなパターンから、下流の湖沼を水源とし、ポンプとパイプラインにより再び（上）流域へ還流させている高度なパターンまで様々である。

1.2.3 流域の水循環の実態としての水収支・物質収支と水文・水質データ

流域（圏）の水循環機構（流域構造）を把握するとともに、流域の水循環・物質循環の実態としての水収支・物質収支を捉える基盤データとして、水文・水質データがある。特に雨量や水のボリュームとしての流量の情報は重要である。基本的に水文・水質データは河川管理者によって自動観測または定期観測され、大部分はインターネットで公開されている。これらの重要性については、1.2.1 で示したとおり、水循環基本計画の中でも謳われているとおりである。

1.2.4 既存の水文・水質データ管理における課題と流域情報管理の必要性

河川管理者による水文・水質データはインターネット等での公開が進んでいる一方で、河川にダムや堰堤等の横断工作物を設置している電力会社や農業用水関係（土地改良区等）においても同様の観測がなされているはずだが、そうした地点の情報は一般に利用できる形としてほとんど共有（公開）されていないのが現状である（河川管理者に対する報告も例外ではない）。少なくとも現状で実施している水文・水質データについては、一元的に集約（管理）され、誰もが利用できる形で共有（公開）されることが望ましい。

流域における多数のステークホルダーの存在並びに上述の状況から、流域総管理化の前段階として「流域情報管理」の体制整備が必要といえる。「水循環基本計画（2-6-1）¹⁾」において、「国、地方公共団体等は、調査等によって得られたデータや分析結果の公表に努めるものとする。なお、その際には分かりやすく利用しやすいよう、オープンデータ化を図るなどデータの有効活用を図る」とあり、国、地方公共団体は既にオープンデータ化の傾向にあるが、上述したその他の機関はデータの公開のための施策を具体的に講ずる必要がある。

1.2.5 矢作川流域を例にみる河川管理と水文データ管理の実態

著者の修士論文⁴⁾では、矢作川流域圏をモデルとして、河川・水文情報管理の高度化について検討した。その中で矢作川流域における水文データ（雨量・水位）管理の実態について調査を実施した。現地調査を含む網羅的調査により、矢作川流域には雨量計 111 箇所、水位計 56 箇所、計 167 箇所という多数の観測所が存在することが分かった（図 1-2）。しかし、観測所の設置（管理）者は複数の行政機関（一部は民間事業者）にわたり、これらの情報を一元的に閲覧可能な Web サイト等は存在しないのが現状である。また農水関係、電力会社についてはそもそも公開されていない。

また空間的な分布を見た場合、自治体（豊田市、岡崎市）が独自に雨量計を設置している地域では比較的高密度に観測所が存在するものの、山間部では低密度といったバラツキが存在する（但し、望ましい雨量の観測密度は最低 50km² に 1 箇所⁵⁾とされ、これに照らすと基準どおりである）。

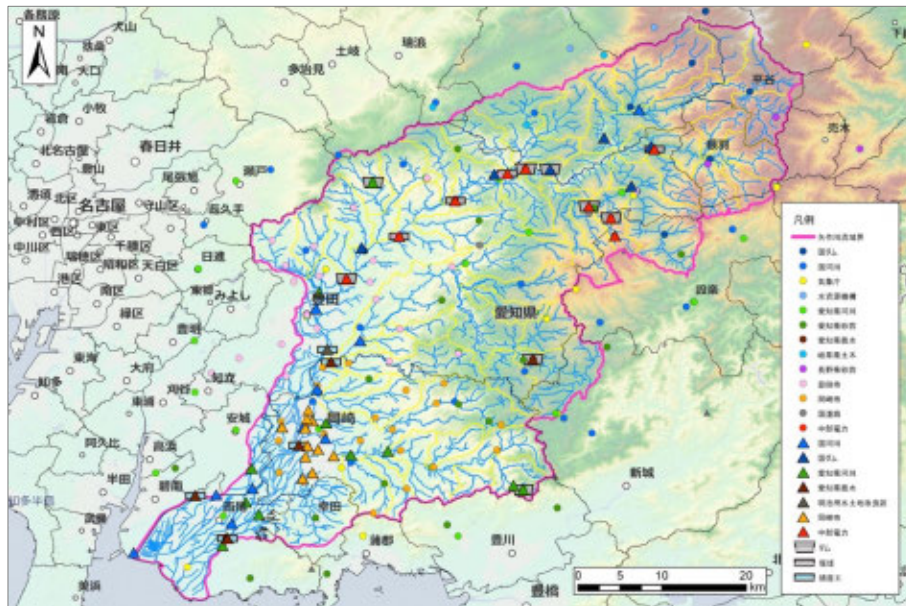


図 1-2 矢作川流域における雨量計と水位計の設置者別塗り分け

GIS データ出典: 国土数値情報, 主要水系調査(国土交通省)

1.3 マルチスケールでみた流域情報管理の実態

1.3.1 既存水文・水質観測点の空間密度

1.2.4 で述べたとおり, 既知地点及び現状未知地点(共有されていない)の水文・水質データを一元的に集約することは重要であるが, 河川・流域を異なるスケールで捉えた場合, データの密度(解像度)は当然ながら異なってくる。これまでは「流域の水循環」という視点でマクロ的な議論であったが, 中小河川や大河川の地先レベルについてミクロ的な議論をする場合の情報密度(水文・水質データ)についても検討する。

1.3.2 マルチスケール(マクロ～ミクロ)での河川・流域の捉え方

1.3.1 で挙げたとおり, 河川・流域の捉え方には様々なスケールが存在する。本稿では便宜上次の 3 つにカテゴライズする。

①マクロスケール: 大河川の本川河道全体, 流域または流域圏全体をイメージする。河川に限った場合は大河川の本川(河口域から上流域)レベルに相当する。

②ミドルレンジスケール: 大河川の一次・二次支川に相当する中規模流域をイメージする。河川に限った場合は一次・二次支川程度の中規模河川か, 大河川の特定期間(セグメントレベル)に相当する。

③ミクロスケール: 大河川の三次・四次支川に相当する小規模流域をイメージする。河川に限った場合は三次・四次支川程度の小規模河川か, 大河川の河道地先(リーチ)レベルに相当する。

1.3.3 ローカルな水文・水質データの不足

1.3.2 のカテゴリについて, 1.2.5 の矢作川の水文観測の状況に照らしてみると, 現行の観測体制がカバーしているのは, ほとんどが①マクロスケールのレベルである。しかし必ずしも流域全体に地点が配分されている状況にない。雨量計は中・上流域に, 水位計は中・下流部に集中している傾向が見られる。②ミドルレンジスケールのレベルでは, 部分的には都道府県, 市町村単位でカバーしている場合もあるが, ほとんどが中規模河川の下流末端での観測に限定される。③のレベルについては, 特別な防災対策, 或いは研究者等による個別の調査・研究等によるもの以外は通常考えられない。

つまり, ②ミドルレンジスケールと③ミクロスケールにおけるローカルな水文・水質データを捉えたい場合, 近傍に観測地点が存在しない限り, 既存の情報密度(解像度)では不足する可能性が高く, 水文的・水質的概況を捉えることが困難であることが想定される。これは河川に限らず, 池沼や湧水(地下水)等の水域についても同

様に言えることである。

1.3.4 既存の観測体制の維持・拡充における課題

面積的、延長的に流域における水域の大部分を占める中小河川・流域や大河川の地先レベルでの水文・水質データを得ることは、流域の水循環を捉える上で重要な情報になりうるが、1.3.3 で述べたとおりそもそも情報が不足しているのが現状である。しかしながら既存の水文観測点と同様の観測所を追加すること、及び既存の水質観測地点同様の頻度・項目で観測地点を追加し、全体の観測密度(解像度)を高めることは容易ではない。現場の困難性として、新規はもとより、既存の観測地点の維持(管理)すらコスト等の点で課題となっているのが現状である。

これに対して水循環基本計画(2-6-1)¹⁾においては「国、地方公共団体等は(中略)必要に応じて調査・観測体制の充実、データの集計・解析を実施するよう努めるものとする」と、前向きな方向性は示されているものの、実際の河川・流域(現場)レベルにおける「必要性」についての検証プロセスと、必要な予算措置が一体として示されるべきである。

なお治水対策の点では、近年の局所的な豪雨災害等への対策として、「危機管理水位計」の導入が始まっている。しかし未だ一部の地域のみであること、電源・通信コスト等の点で運用は洪水期のみとしているものがほとんどであり、水循環(水収支)的な検討への利用は想定されていない。またあくまで水位の監視が目的であり、流量への換算等を行われていないと推察される。

1.3.5 情報が不足した現場への適用を想定した効率的調査スキームの必要性

1.3.4 で示したとおり、既存の観測地点と同等の観測体制を、流域の末端部(上流域や中小河川等)や大河川の地先までを網羅できるよう拡充することは、現段階では現実的でないと考えられる。しかし一方で水循環基本法における流域総合管理の理念を実現させるためには、このような上流域や中小河川等を含めた水循環機構(流域構造)を明らかにすることが重要である。

このような状況を鑑み、まずは情報が不足した河川・流域の概況を低コストで簡便かつ迅速にマルチスケールで捉えられる各種調査スキームの開発が必要と考えられる。そこで本研究ではこのような流域の水循環機構(流域構造)や水収支、物質収支の概況を捉えられる調査スキームの開発を検討することとした。検討の方向性については1.6で詳しく示す。

なお、1.4で示す河道縦断における河道水理特性の調査スキーム⁶⁾や、1.5及び3.5で示す河道縦断における非明示的な湧水ポテンシャルの調査スキーム⁷⁾については個別に検討し、それぞれ既報である。

1.4 河道縦断における河道水理特性の事前的調査スキーム(開発済み)

1.4.1 開発したスキームの概要

本スキーム(開発済み)の概要は次のとおりである。

河道内において河川環境創出等を検討している現場においては、冠水頻度や土砂堆積等の指標となるミクロな水位変動特性等の情報が重要となるが、通常このようなミクロスケールにおける高密度な情報は存在しない。そのため上下流の既知点(既存水位計)を補完する形で簡易水位計を配置し、縦断水位の連続観測を事前的に実施することで、流況別の水面形等の水位変動特性を把握し、現場の詳細設計に資する情報を取得するというものである。なお本スキームは論文⁹⁾として既報である。以下に詳細な内容を示す。

1.4.2 研究の背景と目的

近年治水対策や自然再生を目的に高水敷を切り下げ、河床の二極化により消失した低水路内氾濫原(ハビタット)の復元・創出事業が各地で試みられている。その際重要になる現場の切り下げ(掘削)高の設定は、年数回規模の中小出水による攪乱や冠水との関係(特に感潮域の場合)等、現場付近の水面形アンジュレーションに対応したデリケートな調整が必要である。一方で任意の地先レベルの水位変動データは通常存在せず、上流近傍に水位観測所が存在する場合、これを現場の評価に代用する事例が見られる⁸⁾。しかし現場とその上下

流に特異な河道特性(狭窄部, 河床勾配転換, 湛水区間等)を有していた場合, これに依存した水位変動が生じている可能性が高く, 上流観測所地点のデータのみでは, 攪乱や冠水頻度を過大, 或いは過少評価する危険性があるが, これは事前にわからない。

実際に本研究で調査対象地とした高水敷切り下げ施工現場においても, 事前の情報不足により, 計画段階で意図した河川環境創出目標と異なる応答を招き, 結果的に維持管理コストが増大している^{9),10),11)}。

こうした通常可視化されていない現場の河道水理特性が, 事業の計画段階で把握(予見)できていることは, 設計・施工への反映が可能な他, 目標自体を物理条件の制約(実現性の観点)から修正することも可能となる。本研究では予算制約上, 事前に大規模な調査が容易でない状況に鑑み, 計画段階で実施可能(低コスト)な河道水理特性の高密度把握手法を開発した。また現場レベルの河川技術として提案することについても検討した。

1.4.3 調査対象地の概要と調査方法の検討

(1) 矢作川中流・白浜工区の概要

本研究でモデルとした矢作川中流・白浜工区(図 1-3, 愛知県豊田市, 38.8~39.3K 左岸, L=500m)は, 2011 年度に実施された治水対策を目的とする河畔林伐開と, 高水敷切り下げ施工により環境創出された人工の砂州である。地元要望により多様性のある水際エコトーンの回復や, 水生生物の生息場確保等を目標に, 湿性の氾濫原環境と“わんど”が造成された。しかし, 施工直後から出水時の土砂堆積が顕著であり, 陸生植物の定着と繁茂への懸念が高まっていた。

また白浜工区(以下, 工区)付近の河道特性は, 湾曲部(工区は内湾側に位置)であること, 河床勾配が工区上流寄りで転換(1/817→1/1,246)していることに加え, この河床勾配転換点付近を境界として, 上流側は通常の順流区間, 下流側は 4.4km 下流の頭首工堰上げ背水による湛水区間とに分かれる(工区水際の約 2/3 は湛水区間に接している)。このような特異な河道特性を有していることが, 工区の応答(土砂堆積, 植生定着)の予測を一層難しくしており, この点が本サイトの最大の特徴である。



図 1-3 白浜工区全景



図 1-4 ダイバー水位計

(2) 調査方法の検討

以上の背景から工区の応答のモニタリングと並行して, 工区に攪乱や冠水をもたらす外力としての水位変動を, 安価な自記圧力式水位計(図 1-4)を用いた実観測により捉え, 工区地点の河道水理特性を明らかにすることとした。また上述した河道特性の状況から, 工区とその上下流を含めたミドルレンジでの変動を捉える必要性があることに鑑み, 河道縦断方向に複数の水位計を設置した。

対象区間は下流境界条件である明治用水頭首工付近(35.0K)から, 河道定期縦横断データが存在する直轄上流端(41.6K)までの 6.6km とし, 最大 7 台の水位計を設置した。中間の観測地点は工区上流 1.6km に存在する既存の水位観測所(国土交通省・高橋地点 40.35K)を補完する形で, 河道縦断図(図 1-8)や現地状況も踏まえ配置した(図 1-5, 1-6)。

調査は 2014 年の出水期から(縦断水位連続観測)開始した。記録間隔は出水ピークを捉えるため 5min.とした。設置方法は低水路水際の草陰等にペグ等を打ち込み固定するか, 既存の杭, ヤナギ等の根に針金で取り付けるなど簡便な方法をとった。



図 1-5 対象区間地図



図 1-6 白浜工区地図

背景画像:河川 LP データ オルソフォト画像(国土交通省)

1.4.4 縦断水位連続観測による河道水理特性の把握

(1) 瞬間縦断水面形の描画

縦断水位連続観測により各観測地点の水位データを取得した(図 1-7). なお本稿では 2014 年の観測結果(7/1～11/13, 水位計 6 地点)を用いて考察する. 取得した水位データから任意の時刻時点の水位を抽出し, 図 1-8 の河道縦断図にプロットすることにより瞬間縦断水面形を描画した結果が図 1-9 である. 図中に示した水面形のうち最高水位(高橋基準)は, 2014/9/25 7:00 の 33.62m(流量:599.19m³/s)である. 破線は同出水ピークの 2 時間前・後(水位上昇中, 下降中)のものである. 同じく豊水位, 平水位, 低水位は, 高橋地点の位況平均値(2004～2013 年)に相当する水位時点を抽出した. その他は代表的な出水ピークを参考値として掲載した.

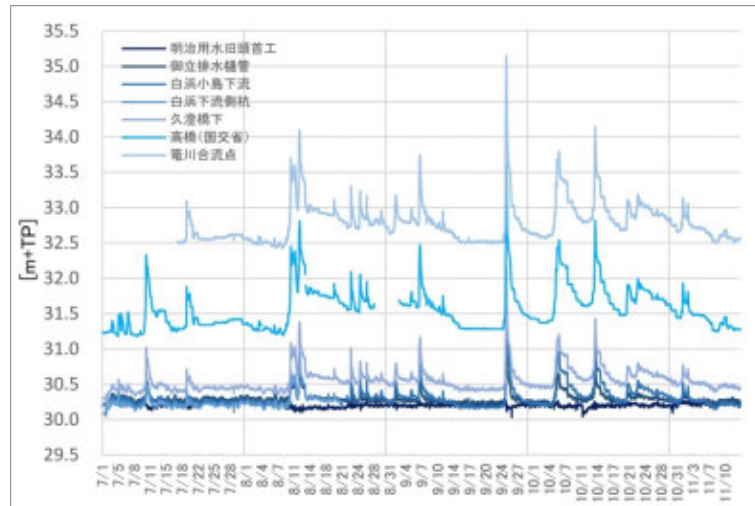


図 1-7 2014/7/1～11/13, 水位計 6 地点

高橋地点水位データ: 水文水質データベース(国土交通省)¹²⁾

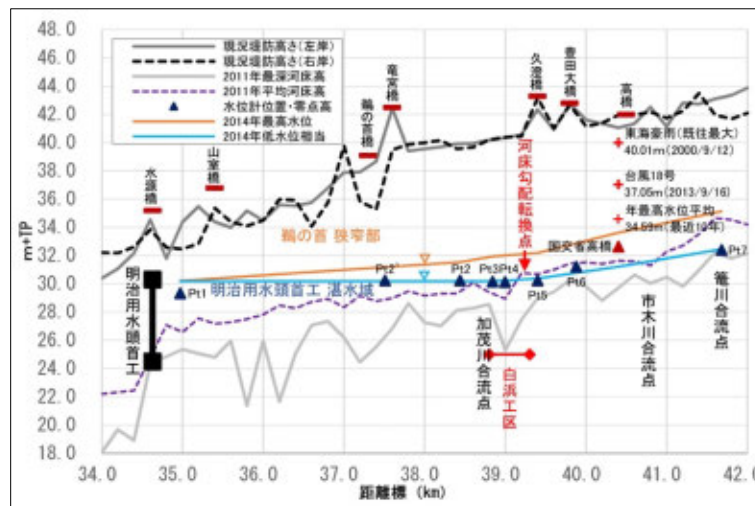


図 1-8 対象区間の河道縦断面図

河道縦横断データ: 国土交通省豊橋河川事務所提供

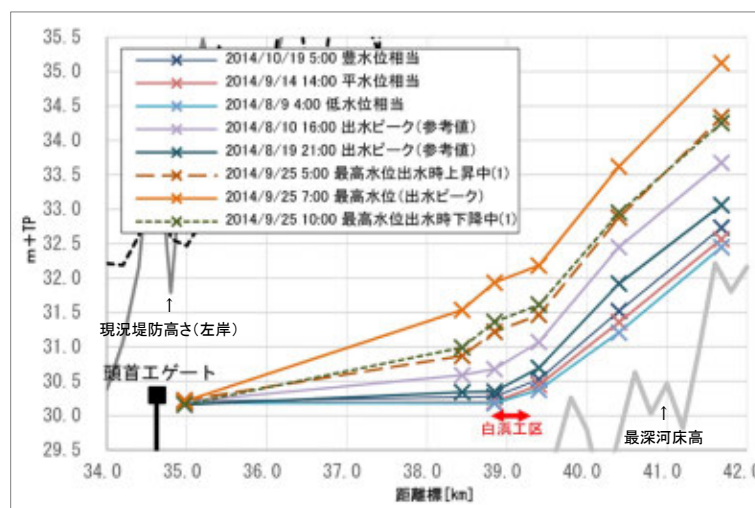


図 1-9 流況別の瞬間縦断水面形

高橋地点水位データ: 水文水質データベース(国土交通省)¹²⁾

(2) ミドルレンジの河道水理特性

流況別の瞬間縦断面水面形の描画により、工区の上下流ミドルレンジの河道水理特性として以下の4点が明らかとなった。

- ① 下流境界条件である頭首工(通常、水位データは非公表)は、取水水位一定運用。出水時も放流ゲートの操作により、流速を上げて疎通させ水位を固定している。
- ② 出水時の水面形は、39.0～39.2K 付近で緩勾配へ急変(屈曲)する。
- ③ 平水(低水)時の水面形は、39.2K 付近(河床勾配転換点)で屈曲し、湛水区間に入るとほぼフラット。
- ④ 水位変動幅(最高～最低)は上流から下流に向かって縮小(圧縮)する。

(3) 工区地点の水理特性

ミドルレンジの河道水理特性から、工区地点の水理特性上の位置付けは以下のとおりである。

- ① 出水時の水面形屈曲は工区中央部にあたる。工区は水面勾配転換点(境界部)に位置する。
- ② 水面勾配転換点より上流(順流区間接続)は勾配が急で流速が速く、掃流力も大きい。
- ③ 水面勾配転換点より下流(湛水区間接続)は勾配が緩やかで流速が遅く、掃流力も小さい。
- ④ 工区地点の水位変動幅、冠水頻度、冠水時間は上流に比べて小さい。

(4) 工区の応答のモニタリング結果と水理特性の対応

工区地点の水理特性と工区の応答のモニタリング結果を対比すると、明確な関係性が確認できた。結果をまとめた概念図を図1-10に示す。

水面勾配転換点を境界に上下流の土砂輸送の駆動力の差異が、土砂粒径の分布に最も顕著に表れている(図1-11、*代表断面の位置は図1-6参照)¹³⁾。植生についてもこれに対応しており、出水攪乱を強く受け粗礫化傾向にある上流寄りでは、ツルヨシが優勢なのに対して、攪乱を強く受けず砂・シルト堆積が顕著な下流寄りでは一般草本が優勢である(図1-12)。また植生は冠水頻度の鉛直分布とも関係しており、土砂堆積により比高が拡大した場所(図1-13)については、陸生化、或いは裸地化している。

また、上流側と下流側での水面勾配の影響を、土砂の移動限界粒径で評価した。粗い方法ではあるが現地砂州水際部および陸域(平水位+0.4m)のそれぞれの高さにおける水深と、上流部勾配、下流部勾配を用いた摩擦速度(掃流力)から上下流それぞれの移動限界粒径を見ることが、移動土砂の大きさを岩垣式¹⁴⁾で評価したところ表1-1のようになり、上流区間では礫以下の土砂が移動できるが、下流では砂までであり、地表に現れる粒径の違いと概ね対応している。またこのことからこの境界部には両者の間の粒径の土砂の堆積が起きやすいことも推測された。

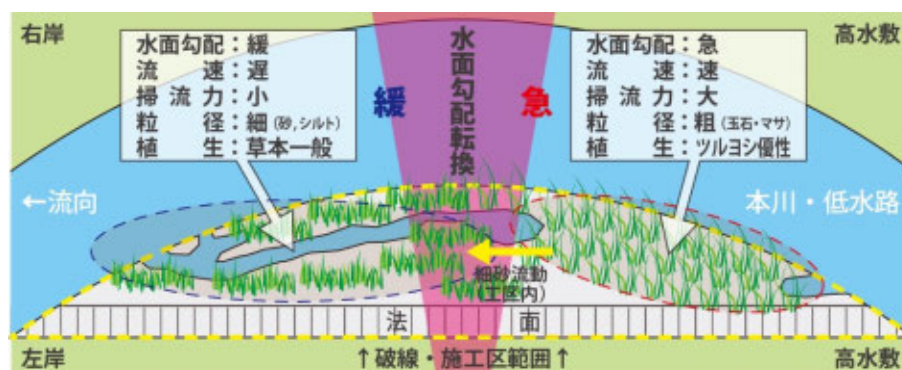


図 1-10 河道水理特性と応答状況のイメージ図

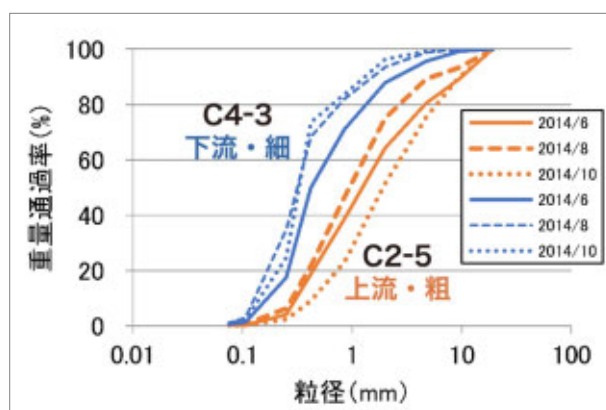


図 1-11 代表断面の粒経加積曲線¹³⁾



図 1-12 植生応答の状況(左:工区上流側, 右:工区下流側)

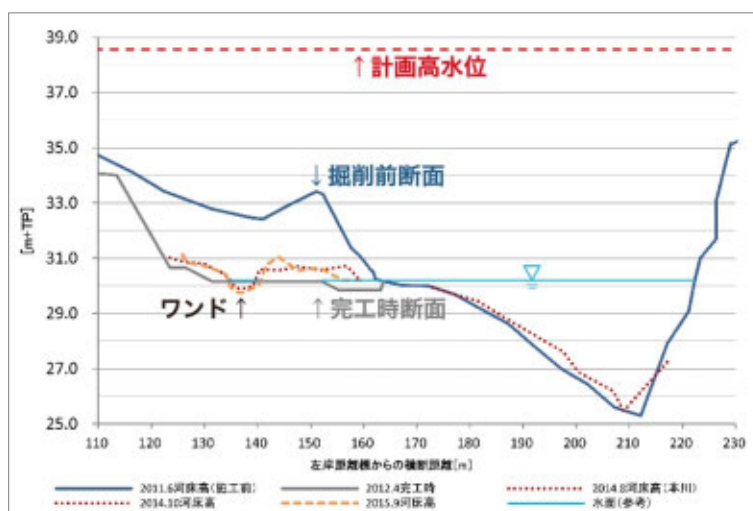


図 1-13 施工区中央部の低水路横断変化(代表断面)

(2011,2012,2014.8 データ 39.0K・2014.10,2015 データ 39.0K-25m)

表 1-1 工区の上下流における移動限界粒経

観測 日時	評価地点		上流部 Pt5～高橋	下流部 Pt1～Pt3	現地水深 [m]
	水面勾配 [-]		1.11E-04	1.38E-03	
2014年 8/10 16:00	移動限界 粒経[mm]	水際部	7.97	0.64	0.477
		陸域部	1.29	0.27	0.077
2014年 9/25 7:00	移動限界 粒経[mm]	水際部	30.22	8.04	1.735
		陸域部	23.25	6.18	1.335

(5) 調査結果のまとめと考察

このように今回モデルとした工区では、特異な河道特性に依存した水位変動が生じており、特に水位変動幅(最高～最低)は上流の高橋観測所が 2.44m に対し、現場(Pt3 地点)は 1.88m と約 25%も小さい。よって上流データのみでは土砂堆積や植生定着等の予測に影響が出る事がわかった(工区地点の攪乱や冠水は上流ほど期待できない)。

さらに同じ観測データ(図 1-7) から、水位変動に着目して整理したところ、「上位 5%値 - 95%値」の範囲で見た水位変動幅は高橋観測所で 1.41m であったのが、工区では 0.39m に圧縮され、陸生化しやすく植生侵入が有利な環境であることがわかった。

以上の結果から、こうした砂州の中小出水による応答を河道水理特性から想定できることもわかった。

本サイトにおいて計画段階から特に水面勾配転換点(境界部)である事実が確認されていた場合、工区中央から下流部が特に土砂堆積傾向にあること、更には掃流力の差異によって生ずる土砂粒経分布と、これに依存した植生分布の予測を立てることが可能であると考え、人工的に造成した“わんど”の配置についても、土砂堆積による埋没を回避するための検討が可能になったと考える。

1.4.5 河川環境創出スキームへの実装の検討

以上のとおり安価な水位計を用いた観測により、地先レベルの水位変動特性を容易に捉えることができ、これにより現場の土砂堆積、植生定着等の応答を、河道水理特性の観点から予見できることが明らかとなった。この高密度な河道水理特性の事前的把握手法である「縦断水位連続観測法(以下、本手法)」を、現場レベルの河川技術として提案する。

(1) 本手法の対象とする事業

本手法による調査が有効と考える事業としては、高水敷切り下げや低水路拡幅(河道掘削)等の施工を伴う水際部での河川環境創出(自然再生、親水的水辺空間創出)プロセスへの適用が考えられる。

具体的には治水対策や災害復旧においてそうした場の創出を「多自然川づくり」の思想・技術に基づいて実施する場合である¹⁵⁾。特に事業自体の第一義的な目的は治水対策であるが、その一環として環境創出を併せて実施するものに主眼を置く。1.4.2 でも述べたとおり、具体的には治水面に重きを置くため、環境面のための河道水理特性上の配慮(施工仕上げ時の微地形アンジュレーションの付け方等)までを含めた詳細な調査・設計は、時間的、予算的制約等から注力されないというケースである。

その他に水際から氾濫原にかけての自然再生自体を目的とする事業(環境創出単独での設計・施工)も範疇に入れる。事例としては河道掘削部の自然再生による、氾濫原環境の回復やヨシ原等の創出などが挙げられる。

(2) 河道掘削等と併せて施工する環境創出スキームにおける課題

a) 治水事業での環境創出における課題

環境創出を治水対策における事業の中で実施するために生ずる障害として以下のことが挙げられる。

- ① 治水事業として実施するため、環境創出の部分に対してそもそも予算を投ずることが難しい。事前に詳細調査を行うための時間的余裕や予算的余裕が少ない、または無いことが多い。
- ② 環境創出を当初想定していなかったところに、計画・設計・施工の途中段階で実施を検討する場合がある(例:地元要望など)。そのための検討を行うための時間的、予算的余裕がない。
- ③ 治水事業は断面評価、準二次元解析など、出水時水位の効果を評価できればよく、水面形がなめらかなため、直轄河道レベルでは 200m 間隔の河道定期縦横断情報(横断地形)でも検討可能である。一方、環境創出はそのサイトにおいて狙った生息環境等を支える物理環境の条件(冠水頻度・土砂輸送・地形変化など)が実現するのか、さらにはそれらがどれ位の時間維持可能なのか、といった点について、その「サイトのスケール」(例えば 100m 以内)で検討しなくてはならない。既存の 200m 間隔では情報不足であり、測線が現場に当たらなければ高さの詳細を検討できない。
- ④ 水位に関する情報について見ると、治水事業としては、既往最大・計画規模・計画高水位レベルの洪水と

平水位を対象に設計すればよいが、環境創出は普段の出水による冠水頻度の鉛直分布がどの程度であるのかが第一義的に重要である。つまり大出水でもなく、平水でもない水位変動の特徴を捉えることが水辺環境の創出の情報として極めて重要である。しかしそのような情報を治水事業の施工現場で事前に収集することは稀である。

b) 環境創出における事前検討の理想と課題

一方で河道での環境創出において、研究レベルやモデルとしての調査においては様々な試みがなされており、代表的な例としては、砂州撤去や河岸掘削後の地形変化と植生・生態系の変遷を捉えたり、予測する等の事例がある。

これらの成果を手法としてそのまま通常の事業に適用する理想的な事前検討をする場合、物理的な河道水理や地形変化のシミュレーションを施工前に実施し、河道掘削高等の設定について検討、環境創出に適した設計を採用する、ということが考えられる。

しかし、100m 以内のスケールを検討するシミュレーションにおいては、以下の課題が挙げられる。

- ① 計算に必要な空間の条件(地形・粒径・粗度や植生等)の収集が必要となるが、既存データが比較的揃っている直轄河道でも、200m 間隔の横断地形のみである。一方これを補うため UAV (Unmanned Aerial Vehicle, 通称:ドローン)を利用した詳細測量は有効であり、このようなケースでの利用促進が期待されるが、現段階では研究目的や試験的使用が大半である他、高コストである。
- ② シミュレーションには、境界条件としての流量・水位情報を得る必要がある。既存観測点があれば容易であるが、観測点未整備区間では困難で、さらに上流域の流出モデルに依存することになる。
- ③ シミュレーションの係数等の妥当性評価のため、対象領域での水理量(水位や流れ場)、あるいは地形変化後の空間条件の諸量の情報を必要とする。①における時間的な変化についても捉えておくことが理想である。そのためには施工前に河道の応答を捉えるための調査期間と、平面的調査のためのコストが必要となる。

(3) 本手法の特徴

本手法は河道低水路内において調査対象とする地先、及び地先の上下流複数地点に水位計を設置し、洪水期に一度連続観測を実施する。各観測地点の水位データを取得し、一つは任意期間中の冠水(頻度、時間等)状況を把握、一つは瞬間縦断水面形特性を捉えることで、任意時刻時点(出水ピーク等)の水面勾配から攪乱(土砂輸送の駆動力等)状況を把握。これらの状況から、調査対象地先の「河道水理特性」を明らかにし、地先の現況の応答状況(地形、土砂粒径、植生変化等)の説明(理解)、及び施工を計画している場合、施工後の応答予測に用いるという一連の調査スキームである。設置する観測地点数の設定方法等については 1.4.6(1)で後述する。

また特徴として観測には設置・運用が簡便かつ安価な簡易水位計(市販品)を利用することにより、低コストでの実施が可能な点が挙げられる(水位計自体は別現場等で繰り返し使用が可能)。場合によっては河川管理者が自ら調査することも可能である。

(4) 本手法の位置づけと精度および適用範囲

以上から本手法は現実の治水事業で水辺の事前水文調査が不十分な状態と、理想であるシミュレーションによる事前検討という二つの間を埋める「当たりをつけるための粗い推定手法」として、下記のように位置づけることを提案する。

- 時間的、予算的余裕がある場合……シミュレーション+本手法による妥当性評価(理想的)
物理場予測(冠水頻度・攪乱、地形・土砂粒径・植生変化)に対して、本手法による水位観測結果をチェックのために使用できる。
- 予算的制約、時間的制約が大きい場合……本手法による簡易手法
冠水頻度の鉛直分布や攪乱(移動限界粒径)という指標による現場の物理環境の検討を短い簡易観測で実施する。

1.4.6 縦断水位連続観測の適用方法の実際

(1) 現場河道特性に合わせた水位計投入の検討

本手法を実際に 1.4.5(1)で例示したタイプの事業に適用する場合、対象とする現場及び上下流の河道特性、既存観測所(既知点)の有無、現場の規模(延長等)に応じて観測点の設置数(密度)を選択することになる。これらはケースバイケースであるため、代表的なパターン三つ、応用パターン一つを表 1-2 に示す。

またそれぞれのパターンにおいて、既存(既知)観測所が近傍に存在する場合、これを活用することが合理的である。特に国土交通省の「水文水質データベース¹²⁾」等で情報が公開されている場合は、当該地点の中・長期的な傾向を見ることができる。

表 1-2 目的に合わせた水位計投入パターンの例示

パターン	現場河道特性	目的・ポイント	観測点数	イメージ	備考
最小パターン	順流 (等流仮定)	- 現場と上下流に特異な河道特性は認められないことから、水位計投入は最小限とし既知点と現場の水位変動特性の関係を捉える。 - 既知点と現場の水位の関数を作ることで実観測を終えた後も、既知点水位から現場水位を推定可能になる。	既知点 1 + 観測点 1~2		- コスト最小。 - 現場内が 1 地点の場合、現場の水面勾配は捉えられない。
上下流パターン	順流/湛水 蛇行(湾曲) 河床勾配転換 狭窄、合流点 等	現場の上流或いは下流のどちらかに特異な河道特性が認められることから、水位計を 2~3 地点投入し、現場の水位変動特性並びに縦断水面形変動特性への影響を確認する。	観測点 2~3		- 既知点が近傍に存在する場合は置き換え可能。 - 現場内が 1 地点の場合、現場の水面勾配は捉えられない。
既知点補完 高密度化 パターン (今回モデル)	順流~湛水 河床勾配転換 蛇行(湾曲)	現場及び上下流に特異な河道特性が認められ、現場付近の河道水理特性の予測が極めて困難なことから、現場の上中下流の 3 地点、更に上下流の既知点を補完する形で複数投入し、ミドルレンジにおける現場の位置付けを確認する。	既知点複数 + 観測点 5~		- コスト最大。 - 観測点数が多いほど詳細な縦断水面形を捉えることができる。 - 現場内 3 地点のみ観測も可。
平面パターン (応用)	順流 (交互砂州等) その他	応用パターン。現場が両岸にあるといった場合は平面的な特性についても考慮する必要がある。	観測点多数 (左右岸)		本手法において横断方向の水位差については考慮していない(現場が左岸の場合は、上下流地点も左岸に設置)

(2) 本手法適用の時間軸

時間軸として実施設計の前年度、即ち遅くとも施工する年度の 2 年前に実施することが望ましく、数年先に施工する見通しが立った段階で、河道内に設置しておくことが適当である。観測期間は、長期間である必要はなく、当該事業の実施設計に入っている等、時間的制約がある場合、最低限 6~9 月の洪水期のみで良い(長期間に渡ると設置場所・方法によっては水位計が紛失する可能性が高い)。

なお、年単位で時間的猶予がある場合は、表 1-2 の「最小パターン」を試した後、その結果に河道水理特性上の疑念が生ずる場合は、更に水位計を追加投入し挙動を確認するという段階的方法も考えられる。

(3) その他の付加的作業・調査

今回使用した「ダイバー水位計」による観測では、補正のため現場付近で大気圧の同時観測が必要になる。また水位計の記録データは、大気圧補正後「水深」として返されるため、「水位」として取り扱うためには、通常の水位計と同様にセンサー零点高の標高を求める必要がある。近傍に河川距離標等の水準点がある場合、簡易的な水準測量を1回実施する。

(4) 本手法の応用

大河川(交互砂州区間等)の一角で施工をするケースにおいても、瀬淵一周期のリーチ中での水位変動特性は一定ではなく、本手法が適用可能と考える。表 1-2 における「平面パターン」がこれに該当する。

1.4.7 まとめと今後の課題

(1) 本手法の優位性とまとめ

縦断水位連続観測による高密度な河道水理特性の事前的把握プロセスは、現場の応答の現況及び予測の「当たりをつけるための粗い推定手法」として有効と考える。本手法による推定は、1.4.5(2) a)で挙げたとおり、治水対策事業の範疇において環境創出のための大規模な事前的調査が予算制約上、現実的でない「現状レベル」では特に優位な手法であり、さらに高度ではあるものの高コストで現場への実装が(現段階で)現実的でない「研究レベル」との「中間的手法」、或いは研究レベルとの「併用的手法」としての活用が考えられる。

以上、安価な水位計を活用した実観測により、低コストで現場の河道水理特性を把握し、環境面に配慮した設計・施工を可能とする事前的把握手法として提案する。

(2) 今後の課題

今後の課題として以下が挙げられる。

今回は粗い推定として、水位変動幅と水面勾配の差異による土砂輸送の駆動力等を 1.4.4(4)で評価したが、実際にどの程度土砂が堆積するか等、現場の物理環境の予測に有効な指標への変換。シミュレーションによる予測と本手法に基づく予測結果の整合性の検証(実際の事業プロセスにおける検証)。今回実施した矢作川でのモデル(順流区間から湛水区間接続部における水面勾配転換)以外の現場への適用。瀬淵区間や合流点部等での事例の蓄積がある。

1.5 河道縦断における非明示的な湧水ポテンシャルの調査スキーム(開発済み)

本スキーム(開発済み)の概要は次のとおりである。河道縦断において通常可視化されない水際や河床部に表れる非明示的な湧水集中区間(湧水ポテンシャル)を捉える手法として、通常は流量観測に走りがちであるが、時間コストが高く効率的な調査は望めないことに鑑み、測定が容易で高密度化が可能な電気伝導率(EC)等の水質情報と、そこから観測地点を絞り込んだ流量情報を組み合わせることで、より早く効率的に概況を捉えられるというものである。

なお本スキームは論文⁷⁾として既報であり、3.5で詳細に示すためここでは省略する。また本スキームは1.6で今回検討するスキームの一部として扱う。

1.6 低コストで実施可能な流域構造(水循環機構)と実態としての水収支・物質収支の概況を捉える導入的調査スキーム(本研究)

1.6.1 開発するスキームの概要

1.3.5で示したとおり流域の末端部(上流域や中小河川等)や大河川の地先等、情報が不足した河川・流域の概況を低コストで簡便かつ迅速に捉えられる各種調査スキームの開発が必要である。本研究では、1.4、1.5のスキームの開発を通して得られた知見をベースに、このような流域全体の水循環機構(流域構造)や水収支、物質収支の概況をマルチスケールで捉えられる調査スキームの開発を検討することとした。

また調査スキームに用いる中心的手法として、測定が容易な「電気伝導率(以下、EC)」をインジケーター、

トレーサーとすることに注目した。これは3章で示す著者の各種現場における使用経験、並びに2章で示すECの各種利用法とその優位性から着想したものである(図1-14)。

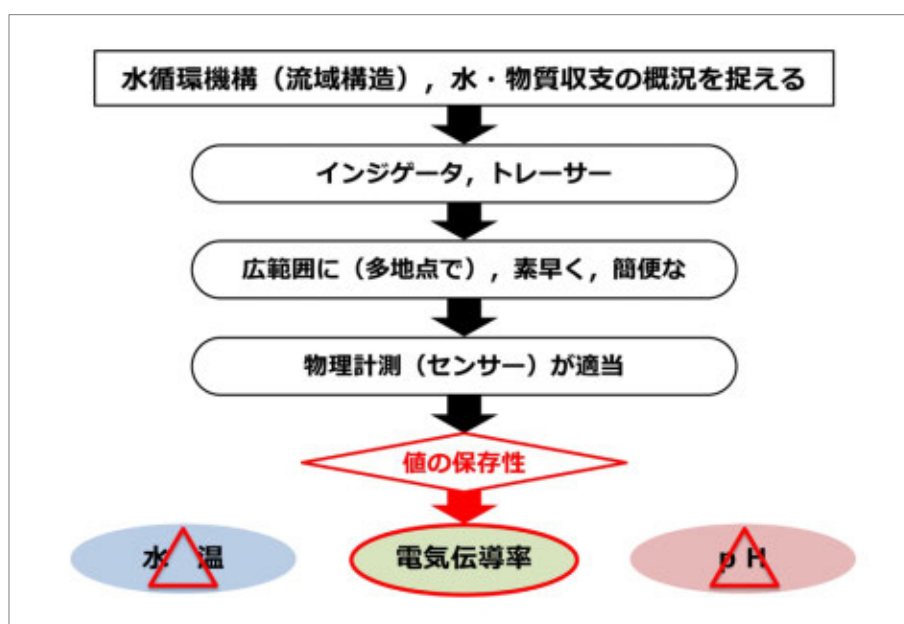


図1-14 本研究(開発するスキーム)におけるECの位置付け

1.6.2 水収支・物質収支共通のインジケータとしての電気伝導率への注目

一般に水質項目として扱われるECは、電気抵抗率の逆数であり水中の溶存イオンの総量を示す。ECは低コストで簡便かつ迅速に測定できる点が最大の特徴である。その特徴から広範囲、多地点での調査も可能である。利用法としては河川・流域における実態としての水収支や物質収支の検討、その他潮水の影響等の調査に広く利用可能である(詳しくは2章で示す)。

また水温やpH等も同様に観測が容易であるが、気温や日射等の影響による日変動性が高い場合があるのに対し、ECは値の保存性が高く、調査実施上も優位であると考えられた。また学校・市民活動レベルでの取り組みを想定した場合も、EC計は比較的安価な製品もあるため利活用しやすい指標といえる。

以上の点から調査スキームの中心的な手法として、電気伝導率の測定を用いることとした。

1.7 研究目的と方法

本研究では、情報が不足した河川・流域の水循環機構(流域構造)と水収支や物質収支の実態を、本格的な調査の初期(導入)段階において、効率的(低コスト、簡便、迅速)にその概況を把握できる調査手法の開発を目的に、水質・物質のインジケータとしての電気伝導率(以下、EC)の優位性に着目し、条件の異なる複数の現場への手法の適用を行い、そこで得られた知見を基に、情報が不足した河川・流域を想定した導入的調査スキームとして提案することとした。

更には指標としてのECの活用と本スキームの利便性を向上させるため、測定値の絶対評価が困難なECの相対評価に資する、環境水におけるECの傾向を把握できる全国版データベースの整備を試行する。

詳しくは1.9で示すが、研究目的と各章の対応は次の通りである。

- 2章:ECの総合的レビューと調査実施上の優位性の提示。
- 3章:条件の異なる複数の現場への手法の適用と得られた知見の提示。
- 4章:情報が不足した河川・流域を想定した導入的調査スキームとしての提示。
- 5・6章:ECと4章のスキームの利便性を向上させるため施策の提示。

1.8 研究の位置づけ

本研究は、「河川・流域管理」をテーマとしたものである。多数の中小河川・流域におけるローカルな情報（流域構造や水循環機構、実態としての水収支・物質収支）の不足を効率的に把握するための導入的調査スキームと位置づけられる。またより高度・最先端の観測・分析（通常、高コスト）の実施を前提としている場合のスクリーニング的調査スキームとしても位置づけられる。

なお、流域情報管理の実態と高度化策についてまとめた著者の修士論文⁴⁾と、現場を下支えする河川技術として提案した高密度な河道水理特性の事前的調査手法⁶⁾、河道縦断における湧水ポテンシャル分布の評価手法⁷⁾の2論文をベースとしている。

1.9 論文の構成

1.9.1 全体構成

本論文は7章構成とした。1章では序論として研究の背景の目的について、7章では結論としてまとめと今後の課題・展望について示す。本編部分に相当する2～6章については、3部構成とした（図1-15）。詳細は1.9.2, 1.9.3, 1.9.4で示す。

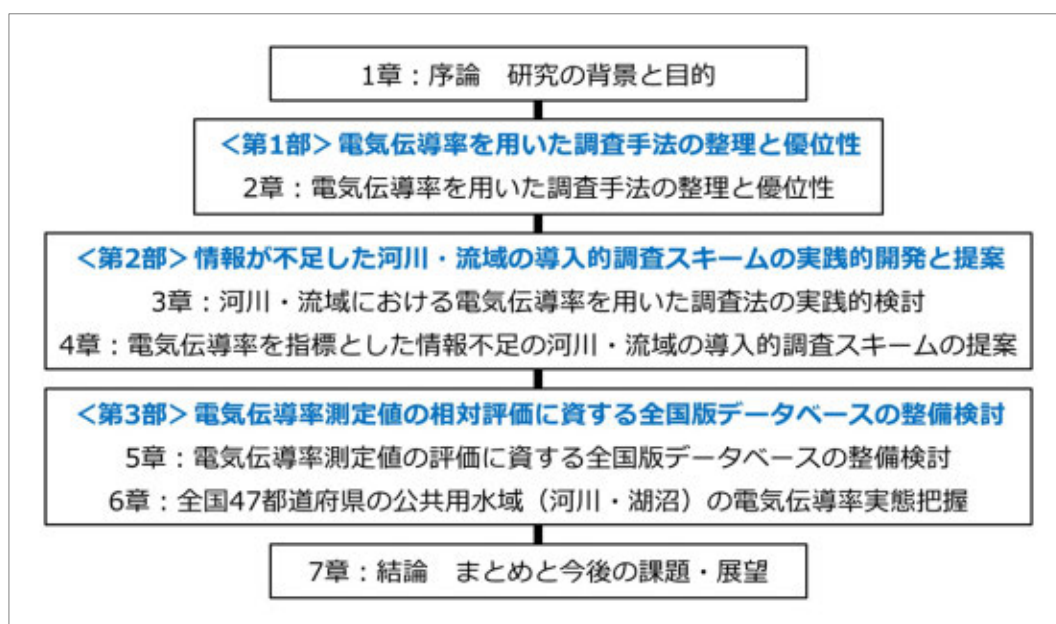


図 1-15 論文構成

1.9.2 電気伝導率を用いた調査手法の整理と優位性 <第1部・1,2章>

1章では研究背景と目的に照らして、情報が不足した河川・流域の調査における低コストで実施可能な調査スキームの必要性について述べ、既に開発済みの河道縦断における河道水理特性の事前的調査スキーム並びに、河道縦断における非明示的な湧水ポテンシャルの調査スキーム（一部）について示す。加えて本研究において開発するスキームの概要を述べ、指標としてのECの利活用に着目したポイントについて挙げる。

2章では電気伝導率測定を用いた調査手法の整理と優位性について検討する。第一にECについて網羅的に扱った文献が見当たらないことから、文献・資料（先行研究）調査を基本に、ECに関する総合的なレビューを実施する。第二に調査（利用）法に関する整理、水の水圏環境調査における優位性を述べる。第三にEC測定値の評価と性格に関する考察、第四に本研究の目的に照らしてのECの可能性について述べる。

1.9.3 情報が不足した河川・流域の導入的調査スキームの実践的開発と提案 <第2部・3,4章>

3章では第一に実際に河川・流域の規模（空間的スケール）と、抱える背景、課題の異なる中部地方・関東地方の4水系5現場を対象に、ECを指標とした各種利用法を組み合わせた調査の実践について示す。そこから

各現場の総括的な考察を通じて、EC の利点・優位性について再度評価する。また一部の現場では EC を用いた調査スキームの開発まで実施した。第二に情報不足な河川・流域の導入的調査スキームとして提案すること、EC 測定値の相対評価に資するデータベースの必要性についても触れる。

4 章では 2 章で示した EC の利点、各種利用法とその優位性、3 章における複数の河川・流域における EC を用いた実践的検討結果と手法の開発を基に、EC を用いた情報不足な河川・流域の導入的調査スキームとして総合的に整理し提案する。

1.9.4 電気伝導率測定値の相対評価に資する全国版データベースの整備検討<第3部・5,6章>

5 章では第一に 2, 3, 4 章での各種検討からその必要性について提示した、EC 測定値の相対評価に資する全国的な EC データベースの整備について具体的に構想する。第二にデータベースに収録しうる EC データとして、公共用水域の水質測定結果を対象に検討する。第三にデータベースを更に充実するための任意地点における EC の現地調査実施の可能性について検討する。

6 章では第一に 5 章で構想した EC の全国版データベース整備に向けて、その試行版という位置づけで、データの収集・整理・可視化の実践により、EC データの存在・不存在を明らかにすることとした。なお本研究においては以上の点を明らかにするまでを検討対象とする。第二に空間的なデータ補完のための任意地点調査(参考)の結果について示す。第三に第一におけるデータベースの公開を含め、全国 47 都道府県の公共用水域(河川・湖沼)、その他における電気伝導率実態を捉えるための今後の課題についてまとめる。

1.10 参考文献(第1章)

- 1) 内閣官房水循環政策本部事務局:水循環基本法・水循環基本計画の概要,
<https://www.mlit.go.jp/common/001112000.pdf>, 2019/9 参照。
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局:水利権制度等,
<http://www.mlit.go.jp/river/riyou/main/suiriken/seido/index.html>, 2019/9 参照。
- 3) 国土交通省:水循環基本法について, <http://www.mlit.go.jp/common/001048585.pdf>, 2019/9 参照。
- 4) 吉川慎平:流域総合管理に資する河川・水文情報の高度化に関する研究 ～矢作川流域圏をモデルとして～, 大同大学大学院修士論文, 2017。
- 5) 国土交通省中部地方整備局河川部:絵で見る水文観測, 社団法人中部建設協会, 2001。
- 6) 吉川慎平, 鷺見哲也:施工を伴う河川環境創出スキームへの実装を目的とした高密度な河道水理特性の事前的把握手法, 土木学会水工学委員会河川部会 河川技術論文集 Vol.23 pp.585~590, 2017。
- 7) 吉川慎平, 鷺見哲也:湧水環境依存種の生息場回復に向けた河道縦断における湧水ポテンシャル分布の評価手法, 土木学会水工学委員会河川部会 河川技術論文集 Vol. 24 pp.355~360, 2018。
- 8) 池田茂, 片桐浩司, 大石哲也, 原田守啓, 萱場祐一:河道掘削後の河川氾濫原の変化過程に関する考察, 河川技術論文集第 21 巻, 2015。
- 9) 吉川慎平, 鷺見哲也:矢作川白浜工区における河道掘削後モニタリングのための縦断水位連続観測, 土木学会, 平成 27 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 2016。
- 10) 吉川慎平, 鷺見哲也:河道リーチスケールでの植生・物理環境のモニタリングにおける縦断水位連続観測の有効性, 応用生態工学会, 第 20 回研究発表会講演概要集, 2016。
- 11) 吉川慎平, 鷺見哲也:河道掘削時に造成された低水路内人工ワンド環境の維持に関する考察, 土木学会, 第 71 回年次学術講演会講演概要集, 2016。
- 12) 国土交通省 Web, 水文水質データベース, <http://www1.river.go.jp>, 2019/9 参照。
- 13) 川俣海悠, 鷺見哲也:矢作川白浜工区人工ワンド周辺の土砂と地形変化に関する研究, 大同大学卒業研究, 2015。
- 14) 岩垣雄一:限界掃流力の流体力学的研究, 土木学会論文集第 41 巻, 1956。
- 15) 多自然川づくり研究会:多自然川づくりポイントブックⅢ 川の営みを活かした川づくり～河道計画の基本から水際部の設計まで～, 日本河川協会, 2011。

1.11 関連発表・論文

(1) 関連発表

- 1) 吉川慎平, 鷺見哲也: 矢作川白浜工区河道掘削後モニタリングのための縦断水位連続観測について, 国土交通省豊橋河川事務所 矢作川流域圏懇談会第 31 回川部会 WG, 2015.
- 2) 吉川慎平, 鷺見哲也: 平成 27 年度土木学会中部支部研究発表会, 矢作川白浜工区河道掘削後モニタリングのための縦断水位連続観測, 2016.
- 3) 吉川慎平, 鷺見哲也: 河道掘削時に造成された低水路内人工ワンド環境の維持に関する考察, 平成 28 年度土木学会全国大会 第 71 回年次学術講演会, 2016.
- 4) 吉川慎平, 鷺見哲也: 河道リーチスケールでの植生・物理環境のモニタリングにおける縦断水位連続観測の有効性, 応用生態工学会 第 20 回研究発表会, 2016.
- 5) 吉川慎平, 鷺見哲也: 施工を伴う河川環境創出スキームへの実装を目的とした高密度な河道水理特性の事前的把握手法, 土木学会水工学委員会河川部会 2017 年度河川技術に関するシンポジウム, 2017.

(2) 関連論文

- 1) 吉川慎平, 鷺見哲也: 矢作川白浜工区河道掘削後モニタリングのための縦断水位連続観測, 平成 27 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 2016.
- 2) 吉川慎平, 鷺見哲也: 河道掘削時に造成された低水路内人工ワンド環境の維持に関する考察, 平成 28 年度土木学会全国大会 第 71 回年次学術講演会講演概要集, 2016.
- 3) 吉川慎平, 鷺見哲也: 河道リーチスケールでの植生・物理環境のモニタリングにおける縦断水位連続観測の有効性, 応用生態工学会 第 20 回研究発表会講演集, 2016.
- 4) 吉川慎平: 流域総合管理に資する河川・水文情報の高度化に関する研究 ～矢作川流域圏をモデルとして～, 大同大学大学院修士論文, 2017.
- 5) 吉川慎平, 鷺見哲也: 施工を伴う河川環境創出スキームへの実装を目的とした高密度な河道水理特性の事前的把握手法, 土木学会水工学委員会河川部会 河川技術論文集 Vol.23 pp585~590, 2017.

第2章 電気伝導率を用いた調査手法の整理と優位性

2.1 本章の目的

本章では、第一に電気伝導率(以下、EC)について網羅的に扱った文献が見当たらないことから、文献・資料(先行研究)調査を基本に、ECに関する総合的なレビューを実施する。第二に調査(利用)法に関する整理、水圏環境調査における優位性を述べる。第三にEC測定値の評価と特性に関する考察、第四に本研究の目的に照らしてのECの可能性について述べる。

2.2 電気伝導率に関する文献・資料(先行研究)調査

ECに関する総合的なレビューに際して、まず文献(主に書籍等の出版物)を検索し、ECに関する情報を網羅的に収集した。更に、文献を補う目的で資料(論文・各種報告、Webサイト等の電子媒体)を検索し、ECに関する情報を選択的に収集した。

2.2.1 文献調査概要と方法

文献調査では主に書籍等の出版物を対象に、ECについて記述のあるものを網羅的に収集することを試みた。

方法としては第一にWebの書籍販売サイト、著者最寄りの公立・私立図書館及び東京都立図書館のWeb OPAC等を利用し、キーワードによる書誌情報検索によりECに関係する記述があると見込まれる文献の書誌情報をリスト化した。キーワードは「電気伝導、水質、水環境、河川、地下水、水文、陸水」等を用いた。第二に書店、図書館、専門図書室(荒川知水資料館・他)の書架を利用した実地調査も実施し、同様にリスト化した。

実際の文献は図書館での借用(閲覧)及び購入により入手し内容を確認した。内容確認はECに関する記述の有無について、主に目次と索引を利用してスクリーニングし、ECに関する記述がある場合は該当ページを複写しファイリングした。またリストにEC情報の有無、並びに簡単な内容を加え、EC関係情報が掲載された文献目録としてまとめた(付帯資料1として巻末に添付)。なお、各文献の日本十進分類法(以下、NDC)による分類は国会図書館のデータベース(国立国会図書館オンライン)に登録された番号に統一した。

当初想定したほぼ全ての文献を、都立図書館等を利用して入手することができた。

2.2.2 文献調査結果

2.2.1の方法による調査で、ECに関係する記述があると見込まれる文献を270件参照した。その内無関係であった12件を除いた258件中137件でECに関係する記述(情報)を確認することができた。今回参照した文献270件のNDC別の内訳(範囲)と、ECに関する記述の有無を図2-1にまとめた。なお、270件のリストについてはECに関する記述あり、記述なしに分けて付帯資料1として巻末に添付した。

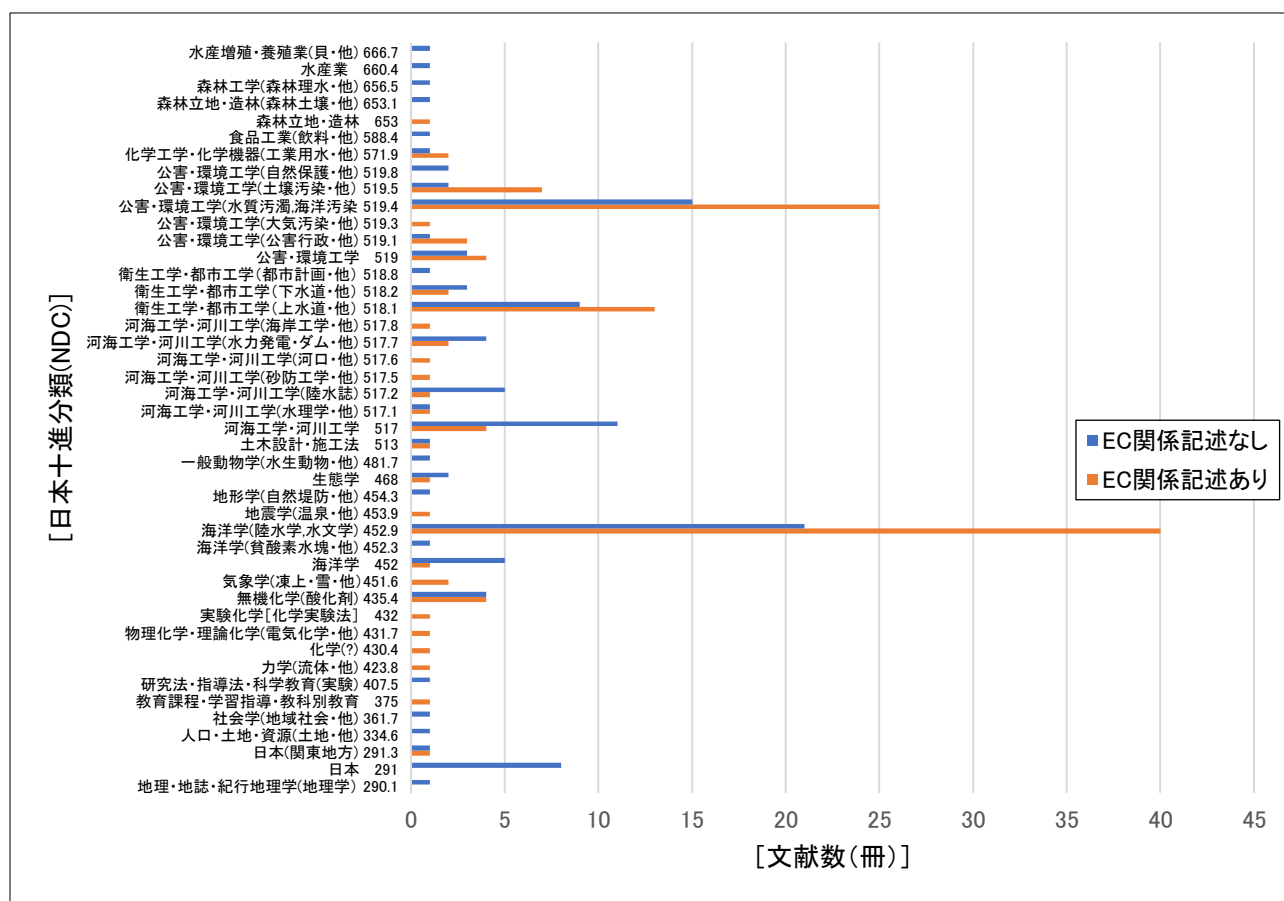


図 2-1 参照した文献の NDC 別内訳と EC 関係記述の有無

図 2-1 から、あくまで今回参照できた範囲の結果ではあるが、概ね分野別に EC に関する記述の有無を概観することができる。今回は EC の記述の有無を予測し調査対象冊数を絞り込んでいるため、「記述なし」の冊数はあまり参考にならない。結果として NDC 別に参照した冊数の順位としては、NDC452.9 の海洋学(陸水学・水文学)が多く、次いで 519.4 公害・環境工学(水質汚濁・海洋汚染)、次いで 518.1 衛生工学・都市工学(上水道・他)という順になった。なお 517 河海工学・河川工学は参照冊数全体に対して該当冊数の割合が少ない結果となった。内容的な成果は各章、各項目の中で具体的に用いる。

2.2.3 資料調査概要と方法

資料調査では主に論文・各種報告、Web サイト等の電子媒体を対象に、EC について記述のあるものを必要に応じて選択的に収集することを試みた。

方法としては、インターネットから Google Scholar¹⁾、J-STAGE²⁾、CiNii³⁾等を利用した関係記事の検索、日本産業標準調査会 Web の日本産業規格(JIS)検索サイト⁴⁾、厚生労働省 Web の日本薬局方ホームページ⁵⁾、その他を随時参照した。論文等については各章で適宜引用する。

2.2.4 資料調査結果

2.2.3 の方法による調査で、EC に関係する記事を複数参照した。EC についての基本的な解説は、EC 計測カーの Web サイト⁶⁾、⁷⁾の記載が詳しく参照した。内容的な成果は各章、各項目の中で具体的に用いる。

2.2.5 文献・資料調査のまとめ

以上の文献・資料調査により、EC の定義、原理、校正法、値の補正法、値の目安、指標・調査上の利点・欠点(留意点)、利用法、調査方、及び実際の利用事例等の情報を得ることができた。一方で網羅的にまとめられた文献が少ないこと、特に文献においては実際の現場における利用事例が 1 件程度しかないことが分かった。

内容的な成果は 2.3 以降で具体的に展開する。

2.3 電気伝導率と溶存イオン

2.3.1 電気伝導率の呼称

電気伝導率の呼称は複数存在し、時間的な変遷と分野によって異なる。本稿での呼称(表記)は、「電気伝導率(でんきでんどうりつ)」, 略称を「EC(イーシー)」に統一する。略称は英語表記の“Electrical Conductivity”に由来する。各章の初出時及び特別な場合以外は EC とする。

その他には、電気伝導率と並んで「電気伝導度(でんきでんどうど)」と導電率(どうでんりつ)が現在も使われている。過去には伝導度(でんどうど), 電導度(でんどうど)等が使われてきたが^{8),9)}, いずれも電気伝導率(EC)と同義と考えて良い。なお, 上水試験法では比導電率(ひどうでんりつ), 工業用水試験法では導電率と呼ばれている¹⁰⁾。

2.3.2 電気伝導率の単位と表記方法

EC の単位も複数存在し、時間と共に変遷している。現在の国際(SI)単位系では、電気伝導率を示す記号である[S(Siemens)]が用いられ、S/m(ジーメンズ パー メートル)で表される。本稿での呼称(表記)は、S/m の1/1000であるmS/m(ミリ ジーメンズ パー メートル)とする。なお[S]は[Ω]の逆数である。

その他には、mS/mと並んでS/mの1/10000である μ S/cm(マイクロ ジーメンズ パー センチメートル)の表記が併用されており、2つの単位が存在することが混乱の元となっている。具体的な例は6.3.3(4)で示す。過去にはmho(モー)という表記もある。現在はSI単位系への統一が進められているが、測定器の標示の都合や過去からの経緯で μ S/cmを用いた報告も見られる。

水質の分野では見られないが、農学・農業で土壌のECを扱う場合、S/mの1/10であるdS/m(デシ ジーメンズ パー メートル), mS/cm(ミリ ジーメンズ パー センチメートル)が用いられている¹¹⁾。土壌用のECセンサではこれらの単位が用いられることがあるため読み取りには注意が必要である。

表2-1に単位の変換表を示す。値の変換はmS/mから μ S/cmは10倍、 μ S/cmからmS/mは0.1倍すれば良く容易ではあるが、間違いの元になるため慎重な取り扱いが求められる。また測定器によっては検水のECの高低によって単位が自動的にS/m等へ変更される機種もあるため、測定値の読み取りには注意が必要である。今後は原則として一つの単位(mS/m)に統一することが望ましいと考える。

またその表記方法について、ECは水の温度により変化するため温度補正が必要である。これについては2.4.3で示す。通常は25℃換算値で表記する。mS/m[25℃]と表記する場合もあるが、最近のデータで特に表記のないものは25℃換算値と見るのが通常である。

表 2-1 EC の単位変換表

S/m	mS/m	μ S/cm	dS/m	mS/cm
0.0001	0.1	1	0.001	
0.001	1	10	0.01	
0.01	10	100	0.1	
0.1	100	1,000	1	
1	1,000	10,000	10	

2.3.3 電気伝導率とは

ECの定義としては、水中に断面積1m²(縦1m×横1m)の電極2つを1m離れた状態で入れ、電気を流した時の電気抵抗率の逆数(コンダクタンス)である。水中の溶存イオン類のおよその総量を示す指標として用いられ、測定値の高低から、溶存イオン類の組成(内訳)は分からないが、多少を推定することができる。

2.3.4 溶存イオンと水の電気伝導性

水の分子式は H_2O であるが、 H_2O (理論上の純水) の状態では電気を通さない完全な絶縁体である。これについては 2.3.7 で示す。しかし様々な電解質が混入し、陽イオンと陰イオンに電離すると、水は電気伝導性を示すようになる。流れる電流の量は水中の溶存イオンの量が多いほど大きくなり、溶存イオンの量が少ないほど小さくなる¹²⁾。この性質を利用し溶存イオンのおよその総量を示すのが電気伝導率である。

故に EC は有機物や土粒子、イオン化しない珪酸等の物質にはほとんど反応しない点が最大の特徴である¹³⁾。そのため河川・湖沼等における「見た目」と EC の測定値は必ずしも一致しない。例えば濁水であっても EC は高くないケース、逆に澄んでいても EC が高いケースなど、有機汚濁系の指標とは異なる応答をすることもしばしばである。

EC の測定は直流を用いると分極及び電解を生じるため、周波数 500～5,000Hz の交流が用いられる¹⁴⁾。交流 2 電極方式が一般的だが、交流 4 電極方式や電磁誘導方式に大別される。日本産業規格 (JIS) ではこの 3 方式のいずれかを使用することが規定されている¹⁵⁾。

2.3.5 指標としての硬度と電気伝導率

水の溶存イオン (電解質) については、水道水やミネラルウォーター、各地の名水の味 (おいしさ) や栄養素として多数の文献で紹介されている。しかしそこで用いられる代表的指標は「硬度 (全硬度)」であり、EC が同時に示された文献はほとんどない傾向にある。硬度はミネラルウォーターボトルのラベルにも mg/L という単位で標示されており、硬度に対応して軟水、硬水等に分類されており、一般の書籍、Web 等では 0～60mg/L を「軟水」、60～120mg/L を「中程度の硬水」、120～180mg/L を「硬水」、180mg/L 以上を「超硬水」とする目安が浸透している¹⁶⁾。これは WHO (世界保健機関) の文書¹⁷⁾を元に行っているとみられる。ヨーロッパの水は硬水で日本の水は軟水という傾向についても一般的である。その一方で EC についてはあまり一般的な指標とはなっていない。また硬度と EC は同じ電解質を対象にしているため混同されることもあるが、EC はイオン化している電解質の総量であり、特定の溶存イオン (Ca^{2+} , Mg^{2+} 等) を選択的に測定できない。そのため EC で硬度を直接測定することはできない。しかし硬度が高い水は EC も高いという傾向が見られるため、Web サイトによると、「水のおいしさを導電率で示そうとする考え方もある」と紹介されている⁷⁾。

2.3.6 溶存イオンの保存性と電気伝導率

水中でイオン化した電解質の保存性は高く、イオン交換や逆浸透、電気透析等の方法を除いてほとんどの水処理プロセスでその値がおおむね保存される¹⁸⁾。環境水においては、滞留性の高い水域では藻類の一次生産等で消費されるが、河川等においてはおおむね保存される。故に EC は水温や pH 等と異なり、値の保存性が高い指標といえる。またこれにより質的指標でありながら、量的指標としても利用が可能な点が電気伝導率の特徴といえる。詳しくは 2.5.4 で示す。

2.3.7 純水・理論純水と電気伝導率

水の電気伝導性は溶存イオンによって生ずることは 2.3.4 で示したとおりである。水中の溶存イオン (電解質) は、飲料水としては味や栄養素として重要である一方、医療分野や食品・薬品・電子工業・その他様々な産業分野で水を用いる場合「不純物」として扱われる。こうした分野では、そのプロセスにおいて水中の溶存イオンを除去しより純度を高めた「純水」が用いられる。

純水が用いられる分野や用途は様々である。一般消費者に身近なところでは、コンタクトレンズ等の洗浄に使われる洗浄水や、自動車のバッテリー補充液等にも純水が使われている。医療分野では注射液としての利用、産業分野では食品 (飲料水を含む) や薬品関係における原料としての利用、水よりも電解質を溶かし込み易いという性質を利用した電子工業 (半導体) 等における洗浄水としての利用、分野を問わず各種ボイラにおける循環水や、様々な設備の冷却水 (冷媒) としての利用がある。ボイラでの利用は、大きなところでは、火力発電所や原子力発電所における循環水としても用いられている。また各種科学・研究分野にも頻繁に用いられるが、大きなところでは東京大学の神岡宇宙素粒子研究施設の素粒子観測装置、「スーパーカミオカンデ (検出器)」が約 5

万トンの純水(超純水)で満たされていることが知られている。

純水の製造は通常水道水や地下水を水源とし、原水の溶存イオンの量や、求められる純度に応じてイオン交換や逆浸透、電気透析等の方法を組み合わせて製造される。一連の製造・管理プロセスでも EC が管理指標として利用されている。純水は製造・管理にコストを要することから、分野・目的によって純度が使い分けされている。文献によると、純度が低い順に「純水・超純水・超々純水」と称されレベル分けがなされている。超々純水は主に電子工業(半導体)製造に用いられ、後述する「理論純水」に限りなく近い水と言われている。これらの製造技術はその純度を確認する計測技術と共に発展したと言われ、電気抵抗率計(EC)はその内の重要な指標となっていることを挙げておく。

しかしながら、超々純水製造技術が更に進歩し、全ての溶存イオン物質が除去された理論上の純水(理論純水)が製造されても、EC の値はゼロにはならないことが分かっている。それは水の分子が極微量水素イオン H^+ と水酸化イオン OH^- にイオン化しているためである。理論純水の EC は $25^{\circ}C$ 換算で $0.005479mS/m$ (電気抵抗率 $1.825 \times 10^{-6} \Omega cm$) であるが、極微量であるため理論純水は電気を通さない(完全な絶縁体)とされる¹⁹⁾。先に紹介した超々純水は $0.006mS/m$ 以下とされ、実際は $0.0055mS/m$ 程度で限りなく理論純水に近づいている。

2.3.8 電気伝導率測定値の目安

EC 測定値の評価については 2.6 で示すが多くの課題がある。そのため多くの文献では値の捉え方、見方について示されていないが、値の「目安」が示された文献が複数ある。2.2 の文献・資料調査から断片的な情報を収集した結果を表 2-2 に示す。結果は主に日本国内での値である。

低値の純水や雨水、高い値の海水については各文献とも統一的であるのに対し、中間的な値のレベルやレンジ、解釈は多少の相違があることが分かった。また近刊の文献では、『水質調査法(半谷・小倉,1995)』¹³⁾が出典になっている傾向が顕著であった。

表 2-2 文献にみる様々な水の EC の目安(主に日本国内)

EC[mS/m]	目安	備考
0.005479	理論純水	事実上の下限值
0.0055	超々純水, 超純水 ²⁰⁾	
0.006	超純水 ¹⁹⁾	0.006mS/m 以下
0.1	純水 ^{19), 20)}	0.1 mS/m 以下
0.1~1	蒸留水 ¹⁹⁾	
0.5~5	雨水 ²¹⁾	
1~3	雨水 ^{22), 23), 24)}	
1.23	融雪水 ²¹⁾	813 Ω/m
5	蒸留水 ²⁵⁾	
3.33~6.66	山間の溪流 ²¹⁾	300~150 Ω/m
4~33.33	平野の河川 ²¹⁾	250~30 Ω/m
5~8	矢作川中流 ²⁶⁾	
5~10	河川上流のきれいな水 ^{22), 24)} ・清浄な河川 ²⁵⁾ 河川の上流の水 ²³⁾	
5~40	東京都内での(水道水の)電気伝導率の一般的な数値 ²⁷⁾	東京水道あんしん診断
6~26	水道水 ¹⁵⁾	
6.66~12.5	河川敷の伏流水 ²¹⁾	150~80 Ω/m
8.33~33.33	沖積層の被圧水 ²¹⁾	120~30 Ω/m
10	地下水 ²⁸⁾	
10~20	水道水 ¹⁹⁾	
12	河川(平均値) ²⁹⁾	
12.5	日本の河川水(推定値) ¹³⁾	
12.5~25	第三系の被圧水 ²¹⁾	80~50 Ω/m
12.5~50	沖積層の自由水 ²¹⁾	80~20 Ω/m
15	水道水 ²⁰⁾	
16.66~25	ローム層中の地下水 ²¹⁾	60~40 Ω/m
19.7	「名水百選」湧水の平均値 ³⁰⁾	
20~40	河川下流の汚れた水 ^{22), 24)} ・河川の下流の水 ²³⁾	
30~	汚染物質流入/塩水混入(地下水) ³¹⁾	
40~70	おいしい水 ¹⁹⁾	
40~120	下水処理水の典型的な値 ¹⁸⁾	
50~100	塩水混入地帯の地下水 ²¹⁾	20~1 Ω/m
数百	汚濁した河川 ²⁵⁾	
2,000~5,000	海水 ²¹⁾	0.5~0.2 Ω/m
約 4,500	海水(平均値) ²⁹⁾	
5,000	海水 ²⁰⁾	
85,000	20%塩酸 ²⁰⁾	

2.3.9 環境水におけるバックグラウンドの影響と電気伝導率

環境水は河道への流出過程で当該地域特有の「バックグラウンド」の影響を受けており、水中の溶存イオン（総量としての EC）の傾向に地域差があることが分かっている。河川水中の溶存イオンの量と組成は、排水の流入や潮の干満、有機物の分解等の直接的影響以外に、間接的影響として降雨、浸透、流出という水文プロセスを通じ流域の地質や土地利用等の影響を受けている。このプロセスにより負荷された溶存イオンを環境水におけるバックグラウンドと定義する。

文献¹³⁾には日本の河川水の平均組成（主要な溶存イオン）の推定値から平均電気伝導率が 12.5mS/m と示されており、日本の河川水における平均的 EC として文献²⁹⁾で複数引用されている。しかしながら、地質的な違いや降雨量に応じた滞留時間的な違いによってバックグラウンドのレベルは異なる。人為的な影響の少ない河川上流の渓流水を対象とした EC と溶存イオンに関する報告が複数出ており参考になる³²⁾。しかし全国的な河川水 EC や溶存イオンの傾向について示したものはない。これについての検討は 5・6 章で示す。

また測定値の評価については 2.6 で示すが、EC がこのようなバックグラウンドの影響を受けていることは、環境水における一律的な水質評価を困難にする理由の一つでもあり、2.3.8 で示した「測定値の目安」に留まっていることにも繋がる。現場において EC の測定値の評価に際してはこのようなバックグラウンドの影響について常に念頭に置く必要がある。

2.4 電気伝導率の測定法と電気伝導率計

2.4.1 JIS による電気伝導率の測定法

EC の測定は日本産業規格（以下、JIS）でも測定法等が規定されている⁴⁾。「公共用水域の水質測定」をはじめ、EC を用いた測定法の記述がある場合のほとんどが JIS に準拠することを示している。調査・研究における EC の測定も極力これに準拠することが望ましいと考えられる。

用語については、規格番号:JIS K012, 規格名称:分析化学用語(電気化学部門)で、番号:282 電気伝導度(溶液の), 283 電気伝導度セル, 284 電気伝導度測定法 コンダクトメトリー, 285 電気伝導度滴定, 286 電気伝導率 導電率(溶液の)についてそれぞれ定義されている。

測定法については、JIS K0130 電気伝導率測定方法通則で一般事項や測定法、塩化カリウム標準液等の詳細が示されている。また規格名称に「電気伝導」が含まれる特殊な水の測定法として、JIS K0552 超純水の電気伝導率試験方法、JIS K6757 エポキシ樹脂の抽出水電気伝導度の求め方がある。

その他に日本産業標準調査会のデータベース⁴⁾で「電気伝導」をキーワードに単語検索すると、230 件の規格がヒットする(2019/9 現在)。その中で環境水に関わりがある代表的な規格としては、JIS K0102 工場排水試験方法がある。更にこれを補足する JIS K0557 用水・排水の試験に用いる水で、EC が 4 段階の水の分類指標の一つとして用いられていることも挙げておく。

なお ISO(国際標準化機構)規格でも EC について規定しており、ISO7888:1985 に“Water quality - Determination of electrical conductivity(水質 電気伝導率の測定法)”が、上記の JIS K0102 工場排水試験方法と対応している。

2.4.2 日本薬局方(JP)による電気伝導率の測定法

日本薬局方でも「導電率測定法」が規定されている。医薬品各条で規定される EC の試験、純水製造時の水質監視用として用いることができるとある⁷⁾。よって主に環境水を対象としている本稿では扱わない。詳しくは日本薬局方を参照されたい。なお、測定値の評価という点で、2.6.2 でも触れる。

2.4.3 温度補正とキャリブレーション

EC は検水の温度によって変化する特性がある。25℃付近では 1℃の水温上昇で 2%の上昇がある³³⁾。そのため 18℃, 20℃, 25℃が基準として用いられるが³⁴⁾、現在は JIS K0130 で規定されている 25℃換算値が標準となっている。2.4.4 でも示すが EC 計の上位機種では、水温計と温度補正機能が内蔵されており、自動的に

25℃換算値が標示される仕組みになっている。温度補正機能の無い機種は、水温も同時に記録(測定)し、後の温度補正が必要である。また過去のデータを参照する場合は基準の温度が異なるため注意が必要である。

EC 計のキャリブレーション(校正)は、市販されている多くの測定器はセルの定数が予めセンサーの内部回路にメモリーされており、EC 電極に異常な負荷をかけたりしない限り通常は必要としない^{35), 36), 37)}。セル定数の設定には、EC が判明している校正液を用意し補正する。JIS K0130 では塩化カリウム溶液を標準液として用いる方法が規定されている。なお一部 EC 計では、標準液によりキャリブレーションが必要な機種もある。

2.4.4 電気伝導率が利用されている場面

EC が利用されている場面は、2.2 の文献・資料調査の結果から複数の分野に渡っていることと、2.4.5 で示す EC 計のバリエーションを見ても多岐に渡っていることが分かる。一方で文献・資料から電気伝導率の利用に関する一覧性の高い情報が得られなかったため、主に主要メーカーの Web サイト等を参考に、利用が想定される分野を一覧にした結果が表 2-3 である。表中の EC 計タイプ(カテゴリ)は、2.4.5(1)の解説を参照されたい。

表 2-3 主要メーカーWeb サイトに見るタイプ別の EC 計の利用・用途分野(メーカー想定)

EC 計タイプ	利用・用途分野	参考
ポータブル型	上下水道・食品・養殖・水族館・環境水(河川・湖沼)	資料 ^{6), 7)}
卓上型	上下水道・食品・養殖・水族館・環境水(河川・湖沼)	資料 ^{6), 7)}
プロセス計測型	上下水道・食品・純水・ボイラ水・医療・水耕栽培	資料 ^{6), 7)}

以上のとおり、EC 計は環境水から用水としての利用まで幅広く水質監視・管理に供されていることが分かる。本稿では主に環境水(河川・湖沼)と、これに関係する上下水道を中心に見ていく。

2.4.5 電気伝導率計のバリエーションと特徴

現在、2.4.4 で挙げたとおり、様々な場面に対応した多種多様な EC 計が国内外の複数のメーカーから販売され、EC が広く利用され、EC 計の需要が高いことが伺える。

(1) EC 計のカテゴリとラインナップ

市販されている機種のタイプとしては可搬性に優れたポータブル型、ラボ用の卓上(据え置き)型や、産業用のプロセス(計測)型にカテゴリ化できる。更にポータブル型はセンサープローブ部と指示部が分離した製品と、センサーと指示部が一体化した小型(コンパクト)製品に分けられる。タイプ別の EC 計の利用・用途は表 2-3 を参照されたい。また測定項目を 2 要素以上持つ各種多項目水質計の中に EC センサーが組み込まれているケースも多数ある。水質自動観測所やダム湖用(フロート式)の水質自動観測装置についても同様である。中には純水・超純水管理用に特殊な精度を持つ EC 計もある。2001 年と情報は古いだが、文献³⁸⁾に EC 計をはじめ、当時市販されていた水質測定機器に関する一覧性の高い情報が掲載されている。本稿においては、環境水用のポータブル型を中心に見て行く。著者が主に使用した EC 計を図 2-2 に示す。



(左)東亜ディケーター:WM-32EP, (右)HORIBA:LAQUAtwin EC-33B



(左)Myron L Company:ULTRAPEN PT1, (右)東亜ディケーター:MM-42DP

図 2-2 ポータブル EC 計・コンパクト EC 計のタイプ

(2) EC 計の名称とポータブル型の価格帯

EC 計は 2.3.1 の EC の呼称と同じく様々な名称が付けられている。単体では電気伝導率計、導電率計、EC 計、EC メーターといった名称の他、水質計、水質測定器といった名称も見られるが、名称どおりの利用ができないことは文献³³⁾でも注意喚起されている。

ポータブル型の価格帯は、主要メーカー製(上位機種)のセンサープローブ・指示部が分離した製品で 8 万円前後である。その他のメーカー製は 3 万円前後の製品もある。小型(コンパクト)製品は 1~3 万円と安価であり、中には 1 万円以下の製品もある⁸⁾。上位機種との違いとしては、精度面で(特に低 EC の検水において)有効数字が 1 桁程度異なる他、測定レンジの幅、温度補正、データメモリー機能の有無等に差があるため、測定目的(要求精度)や利便性、予算に合わせて適切な機種を選定する必要がある。これまでも 3 万円前後で優れた製品が主要メーカーから販売されており、これらは学校・市民活動レベルでの使用に適している。

なお、上位機種では、EC とセットで頻繁に用いられる pH 電極を接続可能な 2ch タイプの機種もある³⁵⁾。この製品は 13 万円前後となるが、非常に利便性が高い。

(3) ポータブル型 EC 計の特徴

EC 計の特徴として次の点が挙げられる。

①応答時間:検水中に EC 電極を投入すると瞬時に測定値が標示され、数値が安定するまでの時間も短く、素早く読み取ることができる³⁹⁾。

②標示単位:2.3.2 で示したとおり、単位は mS/m と $\mu\text{S/cm}$ 、その他が混在している点に注意する必要がある。上位機種では単位標示を任意に切り替えられる製品もある。

③測定レンジ:EC の高低によって分解能(感度)が異なるため、測定レンジが切り替え可能な製品があり、手動と自動(オートレンジ)のものがある。上位機種はオートレンジである。この場合単位も自動的に切り替わるため、読み取り時は注意が必要である。

④水温計の内蔵:ほとんどの機種で水温計が組み込まれている。これは 2.4.3 で示したとおり、温度補正が必要なためである。なお、上位機種では温度補正機能の OFF、任意温度への設定等も可能である。

⑤NaCl への換算:上位機種では、EC から NaCl 濃度[%]への換算機能が内蔵されている機種もある。

⑥プローブの交換:指示計とプローブ(EC 電極)がセパレートされている上位機種では、用途に合わせてプローブの選択が可能である。プローブ長は 1m 程度が標準だが、5m、10m といった製品もある。

⑦消費電力と耐久性:消費電力は少なく、電池は通常の温度環境では相当長持ちするが、上位機種では AC 電源が接続可能な製品もある。ガラス製の pH 電極等にくらべてメンテナンスも容易であるが、電極の簡単な洗浄・拭き取りは必要である³³⁾。

⑧その他オプション機能:上位機種では測定値のメモリー機能、外部プリンタ、PC への接続機能を持つ製品もある。

以上の特徴は EC 測定の特長・優位性とも関係しており、詳細は 2.5.1 で示す。

2.5 電気伝導率の利用法と優位性

2.5.1 電気伝導率測定の特長・留意点

EC 測定の特長・留意点は EC 計の特徴とも密接に関係する。EC 計の特徴については 2.4.5(3)で示したとおりである。それを踏まえた EC の特長・留意点として次の点が挙げられる(なお EC 計は基本的に上位機種の利用を前提としている)。

①操作性の高さと簡便性:検水の前処理等は不要であり、基本的に EC 電極を直接投入し電源を投入するだけで測定値を得ることができるため、簡単な訓練で測定を実施することができる^{8), 39)}。

②応答時間の短さ:現場で瞬時に測定値を得ることが可能であり、短いインターバルでの連続観測も可能である^{40), 12), 41), 36)}。このことは、採水時に(現場で)測定が容易な項目として多くの文献^{42), 39)}で紹介されている。

③低い運用コスト:セルの定数が予め設定されている製品では、キャリブレーションを通常必要としない(出荷時に校正済み)³³⁾。そのため標準(校正)液や、電気的な測定のため試薬の類も不要であり、なおかつ低消費電力のため、メンテナンス・運用コストが低い。

④高い耐久性:洗浄・拭き取り程度で維持可能なため、電極の方式によっては汚れが付着しにくく、連続観測に適した製品もある。いずれもシンプルな構造のため耐久性は高い。

⑤低い導入コスト:EC 計の価格帯は 2.4.5(2)で示したとおりである。ポータブル型では数万円レベルから 10 万円前後の上位機種までがラインナップされている。上位機種といっても他の測定器に比べれば pH 計等と並んで安価な部類である。

2.5.2 文献・資料調査にみる EC の利用法と利用事例

このように様々な利点を有する EC(計)であるが、主に環境水を対象としたフィールド調査において、具体的にどのような利用に供することができるか、またその事例についてまとめられた一覧性の高い文献・資料は、『水質調査法(半谷・小倉,1996)』¹³⁾以外には確認できなかった。今回の 2.2 の文献・資料調査結果を基に、主に環境水の調査を中心に断片的な記述を収集し、著者の経験も交えながら利用法の整理を試みた。

その結果今回収集した利用法・事例は、EC の測定自体を「目的とする」のか、「目的としない」のかに大別できると考えた。

前者は EC の測定値を得ることによって、EC を質・量のインジケータとして直接利用するケースである。これについては、2.5.4 水質(水塊)差を捉えるセンサー的利用法で具体的な利用法・事例について示す。後者は複数(多数)の測定項目の一つとして参考的に測定値を得るケースである。これについては、2.5.3 一般水質調査・スクリーニング的利用法で具体的な利用法・事例について示す。2.5.5 ではその他参考になる利用法を示す。

2.5.3 一般水質調査・スクリーニング的利用法

(1) 環境水(河川・湖沼・地下水)の一般的水質(汚濁)項目として

今日では河川・湖沼・地下水(湧水)等の環境水を対象とした各種調査において、広く水質項目として EC が用いられている。市区町村による調査をはじめ、都道府県による公共用水域の水質調査や、ダム・貯水池管理者による水質調査等がこれに該当する。水質汚濁の防止(公共用水域の監視)や、ダム・貯水池管理の観点から、「結果」として表れる河川・湖沼・地下水(湧水)等の環境水の状態把握(監視)が主な目的であり、BOD など環境基準化された指標が中心で、特別 EC に注目した調査ではないケースが普通である。しかし蓄積された定

期調査のデータは、個別の地点の時間的変化の分析が可能という点でも非常に重要である。

一方で、詳しくは 4 章で示すが、BOD 等の水質基準化されている項目と異なり、必ずしもこれらの水質測定において EC が測定対象項目とされているわけではないと考えられるが、その実態は分かっていない。

また多数の文献で EC の水質汚濁指標としての利用が紹介されているが、注意しなければならない点として、2.6.1 に関連するが、EC 測定値の高低(溶存イオンの多少)は水質の良し悪しとは単純に対応しないことが挙げられる。つまり EC が高く溶存イオンが多い水を一概に汚いとはいえず、この点は近年の文献でも指摘されている。ただし EC を水質汚濁指標として紹介する文献の多くが、河川・湖沼が著しく汚濁していた時代背景との関連がある点を補足しておく。

(2) 環境水の溶存イオン分析に伴う現地情報として

2.3.3 で示したとおり、EC は溶存イオンのおよその総量を示す指標であり、組成(内訳)を詳細に分析するためには、一般に対象の水を採水(サンプリング)してラボへ持ち帰り、前処理の後にイオンクロマトグラフィーを用いた「溶存イオン分析」を実施する。その際の現地情報として水温や pH と共に EC 等が参考的に測定されるケースがある。しかしながら、このような調査の報告においては、結果としての溶存イオンの組成が示されるのみで、EC が同時に示されているケースは稀と考える。中間的な結果としての EC は、測定は実施していても、なかなか公にならない傾向が強いと考える。これについては 4 章でも詳しく示す。

また採水者と分析者が異なる場合は、前処理の段階で溶存イオン量の推定のために、EC を測定することが考えられる(濃度によってはサンプルの希釈が必要)。

またこのような溶存イオン分析は高度(高価な)機器を必要とするため、大学や専門機関、分析会社等でしか実施できず、その分析を委託することを考えると非常に高コストとなる。その際には EC 測定の簡便性・即時性を活かし、対象地の事前的・予備的調査に EC を供することは可能である。EC を用いて対象の環境水を事前にスクリーニングする(当たりをつける)ことで、溶存イオンの量や同質性(測定の要・不要)を推定し、分析が必要な地点を絞り込む(限定する)ことや、分析すべき地点の発見等が可能になる。この利用法は、2.5.4 の EC の測定を目的にしたものに近いが、溶存イオン分析との関連でここに記す。

なお、溶存イオンの分析を前提にせず、地域的な傾向を見るために EC を供することもできる。しかしこれは測定値の評価(位置づけ)に課題がある。詳しくは 2.6.1 で示す。

(3) 降水の溶存イオン分析に先行した簡易分析として

環境水の起源となる降水の EC は、「天然の蒸留水」といわれるように数値が低い。2.3.8 の降水の EC レベルからも分かるとおり、大気中に飛散する様々な物質の影響で微量の溶存イオンが含まれる。(2)と同様に溶存イオンの内訳(組成)は溶存イオン分析が必要だが、先行した簡易分析等に EC を供することが可能である。酸性雨の問題で雨水の pH の測定に比べて一般的ではないが、EC の測定は行政機関等で実施されている。一般に降り始めの降雨には多くの物質が含まれ、降雨が継続するほど清純になるといわれている。水文学の分野や雨水(天水)利用における調査などに利用されている。この利用法は、2.5.4 の EC の測定を目的にしたものに近いが、溶存イオン分析との関連でここに記す。

2.5.4 水質(水塊)差を捉えるセンサー的利用法

(1) 環境水における負荷要因の起源(ポイントソース)の判定

河川・湖沼の調査においては、流入する支川や各種流入水(排水を含む)等の水質が測定される。その際 EC 測定の即時性を活かし、EC を溶存イオン量の異なる水の検出に供することが可能である。一般に工場や下水処理場(人工由来)、温泉・鉱泉(自然由来)等からの流入水の EC は高い傾向にあり、周辺の環境水と EC の差が顕著である場合、容易に負荷要因の起源(ポイントソース)の特定ができる²⁵⁾。また 2.5.3(1)との関連で、例えば河川の下流地点で EC が高い傾向が確認された場合、この方法により中流・上流へ遡って調査を実施することで、同様に起源を発見できる可能性が高い。ただし負荷要因がノンポイントソースである場合もある。この環境水におけるバックグラウンドの影響については、2.3.9 で示したとおりである。

一方負荷要因の反対で濃度希釈側に貢献する周辺の環境水より、EC の低い流入水を発見できる場合もある。一般的には地下水（湧水）、山地からの渓流水、他地域から導水された水などの場合がある。いずれも河川・流域の構造を把握する上では重要な情報となる。

(2) 環境水における海水（潮水）影響の判定

河川・湖沼の感潮域といわれる下流部・河口部の調査においては、海水（潮水）の影響は重要な情報となる。その際 EC 測定の時時性・NaCl 濃度との相互性を活かし、EC を海水の影響（混合状況等）の検出に供することが可能である^{25), 43)}。一般に海水（潮水）と河川・湖沼水（淡水）の水質差は顕著であり、2.3.8 で示したとおり、河川水の EC が 12mS/m 程度とすると、海水は 4500mS/m 程度と、河川水に対して 375 倍程の濃度差があり極めて優位に利用できる。また 2.4.5 で示したとおり、EC 計の上位機種には NaCl 濃度[%]の換算機能がついており、大まかな NaCl 濃度換算値が得られる。これは EC と NaCl 濃度がほぼ比例関係にあることを利用したもので、精度を必要としない場合は塩分濃度計として利用できる。ただし塩分濃度が濃くなると直線的な比例関係は成り立たなくなるので注意が必要である⁴⁴⁾。海洋学では海水の主要成分が一定であることを前提に EC に基づいて塩分濃度が定義される³⁴⁾。

具体的には調査地点における海水（潮水）の影響の有無の把握が可能である。行政機関による水質調査においては、ホウ素(B)・フッ素(F)を測定する際の海水影響の確認に用いられている。また干満による NaCl 濃度の時間的変動幅の把握、空間的な影響範囲（汽水域）とその NaCl 濃度レベルの把握、また時間・空間とも鉛直方向に複数測定することで水深別の塩分濃度の把握が可能である。以上のことから塩水遡上状況の実態把握が可能である。鉛直方向の測定は塩水楔等の発見にも有用である。なお塩水の影響の有無（海水と河川水程度水質差が顕著な場合）のスクリーニング程度であれば、家庭用の塩分計（原理は EC の測定）でも代用可能とされる⁴⁵⁾。

地下水の調査においても、海岸に近い井戸・湧水における塩水侵入の影響調査に EC を用いるとある。同様に海水を安定的に汲み上げるための海水井戸のための調査にも EC が供されている。しかし、EC (NaCl 濃度) が高い傾向が見られても、必ずしも直接的な塩水の侵入ではなく、風送塩が浸透しているケースもあるといわれており注意が必要である⁴⁶⁾。

(3) 河口域における塩水遡上（塩害）防止のためのセンサーとして

(2)の海水の影響に関連して、河口域に取水（水利用）や塩水遡上（塩害）防止のための堰（河口堰等）を設けているケースにおいても塩水混合状況の監視に EC が供されている。このようなケースでは多くが堰の上下流に複数の水質自動観測所を設け連続観測を実施している。利水においては、各種水質基準に合わせて取水停止目標値を設定しており、基準値を超過した場合は取水を停止する。長良川河口堰を利用した長良導水における基準をみると、EC ではなく塩化物イオンが用いられていることがわかる。

塩害防止の観点から農業用水では「農業（水稻）用水基準」⁴⁷⁾に塩害の指標として EC を加えている。詳しくは 2.6.2 で示す。また特殊な EC 計として船舶をはじめ、橋梁、鉄塔、各種プラント、貯蔵タンク等の鉄材表面付着した塩分測定用に、塗装面の表面 EC (NaCl 濃度) を直接測定可能な応用機器もある⁶⁾。

(4) 水族館・養殖水槽における塩分濃度管理のセンサーとして

水族館・養殖における水質（塩分）管理は重要な要素であるが、水槽の海水・人工海水の塩分濃度管理に EC が供されており⁷⁾、事実上の塩分計としての利用といえる。

(5) 水質の異常検知のためのセンサーとして

上水道原水として用いられる河川、湖沼（ダム湖を含む）の水質は自動（連続）観測装置等を用いて特に厳しく監視されている。また上水道においても浄水場をはじめ末端部まで同様に管理されている。その際 EC 計（主にプロセス型）の時時性・耐久性等を活かし、水質項目の一つとして EC が供されている。(3)における塩水遡上防止のため EC 利用についてもこれに含まれる。

実際に EC に異常（変動）があった場合は、別途、溶存イオン分析など原因究明のための詳細な調査が実施

されることになる。

(6) トレーサー投入実験におけるセンサーとして

河川における流量観測や、地下水における流動観測において、食塩等をトレーサーとして投入する実験方法があるが、その場合でも EC 測定 of 即時性を活かし、トレーサーの検出用センサーとして EC を供することが可能である。

(7) 河川水の(既存)溶存イオンをトレーサーとした調査

河川・地下水の調査において、(6)の人工的なトレーサーを投入せずとも、河川流程上に河川水と水質差があり、EC(濃度)の時間変動の少ない流入水があれば、トレーサーとして代用可能である。またこれを利用した水収支の検討等が可能である。

その他、EC を河川・流域からの流出水(各種用水取水、伏流水等)の追跡に供することが可能である¹⁸⁾。これは 2.3.6 で示した溶存イオンの保存性を利用したものである。上水道の場合取水後に浄化プロセスを経ても、新たに負荷される塩素類以外の溶存イオンはほとんど変化しない。そのため末端の水道蛇口の EC を測定することにより、原水との比較で水系の同一性、水の連続性がある程度推定できる。これは農業・工業・発電用水、伏流水としての流出水においても同様であり、原水となる河川水の EC に高い・低い等の特徴があればより顕著になる。

(8) 本川・支川間の水質差を利用した水収支の検討

EC の高度な利用法として、本川・支川(流入水)間の水質(EC)差がある場合(完全に同質は不可)、2.3.6 で示した溶存イオンの保存性を利用して、流量観測を一部省略しても水収支・物質収支の式(2-1)、(2-2)により流量を推定することが可能である。その方法が具体的に記述された文献・資料は少ないため、単純な合流点における基本のモデルを以下に示す。

物質濃度を $[C]$ 、流量を $[Q]$ と表す時、水収支式を式(2-1)、物質収支式を式(2-2)と表される。またここでは $[C]$ の代わりに物質の保存性を仮定し EC の値を扱い検討する。本川合流前地点 $[C_{in}, Q_{in}]$ と、支川合流前地点 $[C, Q]$ 本川の合流後地点 $[C_{out}, Q_{out}]$ の計 3 箇所の EC の実測値が得られている場合、 $[Q]$ は 3 地点のうち 1 箇所の実測で残り 2 地点を推定可能である。これは $[Q]$ のみでは不可能であるが、それぞれの地点にトレーサーとしての $[C]$ を加えることにより可能となる。EC を $[C]$ の値として直接利用できることも EC の大きな特徴であり、利便性の一つといえる。また 6 つの変数 (C, Q) のうち、4 つがわかると仮定できる場合も、他の未知量を推定できる。

$$Q_{out} = Q_{in} + Q \quad (2-1)$$

$$C_{out} Q_{out} = C_{in} Q_{in} + CQ \quad (2-2)$$

(9) EC と流量を利用した横流入する不明水の検討

文献⁴⁸⁾では、ある河道において「細かい水路」から横流入する流量と水質の推定方法が示されている。本川上下流 2 地点と当該区間に横流入する主な支川地点の流量と EC を全て計測する。流量について本川上流地点と主な支川地点の合計(計算)値を比較し、差分がある場合はこれを横流入水流量として扱う。またそれぞれの地点の「 QC (加重水質)」を計算することで、横流入水の EC が推定できるとある。

2.5.5 その他参考になる利用法・事例

(1) 特定の溶存イオンの濃度計として

EC は溶存イオンの総量であり、特定の溶存イオンを選択的に測定できないが、人工的に管理され予め溶存イオンの内訳がわかっている(安定している)水において、特定の溶存イオンのみが増加するような環境では、

EC を濃度計として供することも可能とされる¹⁵⁾。

(2) 水道水(管路)等への移入水混入の簡易判定

一般的な水道水等, 人工的に管理され EC の変動幅の傾向がわかっている水においては, 末端の給水栓等から採水した水の EC や残留塩素濃度を測定することにより, 水道水以外の混入, 誤配管・誤接合(クロスコネクション)等の異常の検出も状況によっては可能である。

東京都水道局が実施している「東京水道あんしん診断」(任意の訪問調査)においても, ユーザーの玄関先でシンプルバックによる残留塩素濃度の簡易測定とともに, コンパクト EC 計による EC の測定デモが実施されている。EC の測定目的は水道水以外の混入の有無の診断とある⁴⁹⁾。東京都内での水道水の EC は 5~40mS/m の範囲にあるとされ²⁷⁾, 範囲外の測定値が出た場合雨水や地下水(井戸水)等の混入, 工水(中水)等の誤配管が疑われるため, 水道局による再調査が実施される体制になっている。但し, 混入水の EC が同範囲内にある場合, EC のみでは判定が難しいが, その場合は残留塩素濃度(塩素注入の有無)が補助となるものと考えられる。

2.5.6 電気伝導率の優位性

以上の点が文献・資料調査及び著者の使用経験から得られた利用法である。1 章で示したように情報不足な河川・流域の新規調査においては, 低コストで素早く簡単な方法で水収支や水質の概況を捉えることができる導入的調査手法が必要である。EC は調査実施上の簡便性, 即時性に優れ, 導入・運用コスト面で比較的経済性も高いことから, 総合的な効率性・利便性が高い指標といえる。またその保存性という点から, 同日に複数地点での調査を実施する場合, 同様に測定が容易な水温や pH 等比べて優位性が高いと考える。特に水温は日射や気温の影響, pH は光合成に伴う空気中の CO₂ の影響等により時間変動が大きく, 複数地点における同時観測が可能な場合(方法)や, 湧水等の水質の時間変動が小さい環境でない限りは取扱いが難しい。

このように EC の特徴・留意点をきちんと踏まえることで, 様々な調査に応用可能な指標となることが考えられる。

2.6 電気伝導率測定値の評価と課題

2.6.1 電気伝導率測定値の評価と各種水質(環境)基準

2.5 で示したとおり様々な利用(調査)法があり, 調査実施上の優位性が高いが, 2.5.3(1)に関連して, 学校・市民レベルをはじめ河川管理の現場レベルからも, 水質調査で EC を測定していても「値が良いのか悪いのか, どのように評価したら良いか分からない」という声が実際に聞かれる。

このような声が聞かれる最大の理由として, 測定値の見方・捉え方の基本となる「水質環境基準」, 「排水基準」, 「水道水質基準」等の各種水質基準において, EC が測定項目として挙がっておらず, 基準値(閾値)が設定もされていないことが挙げられる。そのため測定値が得られても, 絶対評価的な基準(閾値)が示されていないため, その位置付けと解釈が難しい状況にある。故に 2.3.8 で示したとおり, 水質関係の文献を参照しても, 雨水か, きれいか, 汚いか, 海水かといった値の「目安」が示されている程度に留まっている。

EC 測定値の「絶対評価(水質基準化)」が困難な理由として, 2.5.3(1)で示したとおり, 環境水における EC の高低(溶存イオンの多少)と水質の「良し悪し」は, 2.3.9 で示したとおり流域における水文プロセスを通じたバックグラウンドの影響や, 人工・自然由来等, 負荷要因が様々であることから「単純に対応しない」ことが挙げられる。かつての水質汚濁が改善されつつある今日の状況を鑑みると, EC の高低のみで水質の「良し悪し」を評価するのは適切ではないと考えられる。ただし負荷要因が何らかの排水であるなど特定されている場合は, この限りではなく, 無機イオンによる水質汚濁といえるケースもある。

2.6.2 水質基準として用いられたケース

一方で 2.2 の文献・資料調査から, 閾値を設定し EC を水質基準(絶対評価)的に利用している例を国内では 2 件見つけることができた。

1 件目は 2.5.4(3)で触れた農林省公害研究会による「農業用水基準・水稻用(1970 年)」⁴⁷⁾である。同基準は

pH, COD, SS, DO, T-N, 重金属(As, Zn, Cu)と共に塩類濃度として EC を用いており, EC の閾値を 30mS/m に設定し, それ以下としているが, これについての根拠は確認できていない. また資料⁵⁰⁾中の紹介によると糟谷らによる「施設栽培用かんがい水の塩類濃度に関する簡易水質診断(1996 年)」は塩害の有無の判定のための粗い判定に EC が用いられている. これによると 20mS/m 以下を「良」, 20~40mS/m を「可」, 40~100mS/m を「要水質検査」, 100mS/m 以上を「不可」としている. 備考として水質検査では Na や Cl のチェックが付記されている. これは絶対評価的であるが, EC のみで判定するのではなく, より詳細な水質分析の要・不要をスクリーニングする指標として EC を用いている点で適切な利用法といえる.

2 件目は, 日本薬局方(JP)⁵¹⁾における製薬用水の純度評価に EC と TOC(有機体炭素)が供されている. これは 2011 年の第十六改正(JP16)から採用されたものである. 最新の第十七改正(JP17)では製薬用水の品質管理として, 精製水, 注射用水(それぞれバルクと容器入り)について, EC の閾値(上限値)を 0.21mS/m に設定している(容器入りは空気中の二酸化炭素等の影響を受けるため基準が異なる).

なお文献⁵¹⁾によると, 海外では少なくとも EU, アメリカ(カルフォルニア州), イギリス, オーストラリア, オランダ, ドイツは水道水質基準において EC が測定項目として挙げられていることがわかった. しかしながら, いずれも日本では排水や海水でしか検出されない高い値であり, 日本の水道水は全てクリアしてしまうレベルである.

2.6.3 電気伝導率測定値の絶対評価と相対評価

EC 測定値の絶対評価は 2.6.1 で示したとおり水質汚濁指標として位置づけることは難しく, また 2.6.2 で示したとおり一部の基準はあるものの環境水に関するものではないため, やはり絶対評価の利用は困難な状況にある. それ故に EC の利用法は 2.5.3, 2.5.4 で示したとおり, 相対評価の利用が中心となる.

2.5.3 の一般水質調査・スクリーニング的利用法では, 水質基準等の絶対評価的な尺度がないため, 測定値の評価は同地点の時間変化や他地点(上下流・近傍水系)との比較といった, 測定データの収集による相対評価が基本となるが, これに資する一覧性の高いマップや統計値等は整備されていない. なおこれには測定者の過去の測定値の経験やその履歴も関わってくる.

また 2.5.4 の水質(水塊)差を捉えるセンサー的利用法では, 必ずしも絶対評価的な尺度は必要としていない. 特に本川・支川間の水質差の利用については, 「水質(EC)差」が生じていることが重要であり, この場合, あくまで本川と支川の測定値が分かっているだけで, 10mS/m オーダーであるか, 100mS/m オーダーであるかはあまり関係がない.

2.7 電気伝導率の可能性と検討の方向性

これまで質的・量的指標として利用可能な EC の調査実施上の優位性について先行研究を踏まえて示してきた. 次章以降では, EC の利用法に合わせ大きく 2 つに分けて検討する.

2.7.1 河川・流域における電気伝導率を用いた調査法の実践的検討と調査スキームの開発

2.5.4 で示した EC の「水質(水塊)差を捉えるセンサー的利用法」では, ソースの異なる水の検知から EC と流量を組み合わせによる水収支の推定まで既存の利用法を示した. 評価については一方で利用法が示された文献においても, 実際の河川・流域の調査に適用し, どの程度の結果が得られたか具体的に示したものはほとんど見当たらない. そのためこれら EC を指標とした各種利用法を組み合わせ, 河川・流域調査の現場へ実際に適用し, 実践的にレビューすることが必要であると考えた.

よって 3 章では空間的スケールと抱える背景, 課題の異なる複数の現場に各種利用法を適用し, その調査結果とともに EC の利点・優位性について再度評価する. また 4 章では 3 章での実践を通じて得られた結果を元に, 研究目的の一つである情報不足な河川・流域の導入的調査スキームとして体系的に整理し提案する.

2.7.2 電気伝導率測定値の評価に資する全国版データベースの整備検討

2.5.3 で示した EC の一般水質調査・スクリーニング的利用法では, 一般的な水質調査項目として, あるいは溶存イオン分析に先行した簡易スクリーニング的利用法を示した. 一方で, 現状は仮に任意地点の EC 測定値が

得られても水質基準等の設定はなく、その位置付けと解釈をするためには同地点の時間変化の追跡や、周辺地域との比較、測定者自身の過去の測定経験との対比等が必要となるが、これらを満たすのは容易ではない。そのため予めこのような相対評価に資する地域・地方ごとの河川水 EC の傾向が把握でき、手元の EC の測定値と比較可能な、一覧性の高いマップや統計値等をデータベースとして整備することで、EC の指標としての活用が一層図れるのではないかと考えた。

よって 5 章では各オープンデータを活用した EC の全国版データベースの整備について検討する。また 6 章ではデータベース化の試行の結果と課題、EC 測定値の捉え方、読み方について示す。

2.8 本章のまとめ

本章でのまとめ及び成果として次の点が挙げられる。

第一に 2.2 で先行研究としてまとめられた EC の定義・原理並びに調査法等の解説を、網羅的に収集し成果を提示した。これにより調査範囲内で分野横断的に俯瞰することを可能とした。具体的な成果としては、EC に関する記述が確認された文献目録を作成した(付帯資料 1 として巻末に添付)。第二に 2.3, 2.4, 2.5 では 2.2 の調査から得られた多数の EC に関する解説・情報を、カテゴリ別に整理し展開した。第三に 2.4 では EC の利活用の点から、まず EC の利点・留意点を挙げ、その上で既存の調査法の整理と、効率的(低コスト)という点から調査実施上の優位性を実経験と合わせて提示した。第四に次章以降の 2 つの展開・方向性について示した。3・4 章では既存の利用法を現場へ適用し実践的にレビューした結果と EC の利点・優位性活かした情報不足の河川・流域の調査スキームの開発について示す。また 5・6 章では、EC 測定値の空間的・時間的評価に資する全国版データベースの整備について検討し、試行の結果と課題、EC 測定値の捉え方、読み方について示す。

2.9 参考文献(第 2 章)

- 1) Google: Google Scholar, <https://scholar.google.co.jp>, 2019/9 アクセス。
- 2) 国立研究開発法人科学技術振興機構: J-STAGE, <https://www.jstage.jst.go.jp/browse/-char/ja>, 2019/9 アクセス。
- 3) 国立情報学研究所: CiNii, <https://ci.nii.ac.jp>, 2019/9 アクセス。
- 4) 日本産業標準調査会: JIS 検索サイト, <https://www.jisc.go.jp/app/jis/general/GnrJISSearch.html>, 2019/9 アクセス。
- 5) 厚生労働省: 日本薬局方ホームページ,
<https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000066530.html>, 2019/9 アクセス。
- 6) 東亜ディーケーケー株式会社: 電気伝導率のはなし,
<https://www.toadkk.co.jp/support/useful/useful11.html>, 2019/9 アクセス。
- 7) 株式会社堀場製作所: やさしい導電率の話, <http://www.horiba.com/jp/application/material-property-characterization/water-analysis/water-quality-electrochemistry-instrumentation/the-story-of-ph-and-water-quality/the-story-of-conductivity/>, 2019/9 アクセス。
- 8) (50*)河辺昌子: だれでもできるやさしい水のしらべかた, 合同出版, 1993。
- 9) (102)松田好晴, 岩倉千秋: 電気化学概論, 丸善, 2014。
- 10) (248)山本荘毅: 地下水学用語辞典, 古今書院, 1986。
- 11) 全国農業協同組合連合会肥料農薬部: 土壌診断なるほどガイド,
https://www.zennoh.or.jp/activity/hiryo_sehi/pdf/gijyutu_1-01b.pdf, 2020/1 アクセス。
- 12) (72)松尾友矩, 田中修三: 水環境工学, オーム社, 2014。
- 13) (20)半谷高久, 小倉紀雄: 第 3 版 水質調査法, 丸善, 1995。
- 14) (247)公害防止の技術と法規編集委員会: 新・公害防止の技術と法規 2018 水質編 技術編, 産業環境

* 参考文献行頭の()内の数字は付帯資料 1 の文献番号と対応。

管理協会, 2018.

- 15) (69)日本分析化学会北海道支部編:水の分析, 化学同人, 2005.
- 16) (53)杉山美次:最新水の雑学がよ〜くわかる本, 秀和システム, 2012.
- 17) WHO: Hardness in Drinking-water, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, 2011.
- 18) (253)浦瀬太郎:明解水質環境学, プレアデス出版, 2011.
- 19) (101)川瀬義矩:水の役割と機能化ーその多様性と利用ー, 工業調査会, 2007.
- 20) (262)日本学術振興会「水の先進理工学」に関する先導的研究開発委員会:基礎からわかる水の応用工学, 日刊工業新聞社, 2011.
- 21) (228)山本荘毅:地下水探査法, 地球社, 1973.
- 22) (45)小倉紀雄:調べる・身近な水, 講談社, 1987.
- 23) (49)大岩敏男, 大木久光, 高堂彰二, 保坂義男:トコトンやさしい環境汚染の本, 日刊工業新聞社, 2014.
- 24) (54)小倉紀雄, 藤森真理子, 梶井公美子, 山田和人:調べる・身近な環境ーだれでもできる水、大気、土、生物の調べ方ー, 講談社, 1999.
- 25) (3)山田一裕:水しらの基礎知識, オーム社, 2009.
- 26) 内田朝子, 藤居勇, 山戸孝浩:矢作川における大型糸状緑藻の時空間変動, 矢作川研究 No.6 pp.113～124, 2002.
- 27) 東京都水道局:東京水道あんしん診断 診断結果について, 2019.
- 28) (70)地盤工学会地下水を知る編集委員会編:地下水を知る, 丸善, 2008.
- 29) (169)盛下勇:ダム貯水池の水環境 Q&A なぜなぜおもしろ読本, 山海堂, 2002.
- 30) (189)東京地下水研究会:水循環における地下水・湧水の保全, 信山社サイテック, 2003.
- 31) (64)飯田貞:やさしい陸水学:地下水・河川・湖沼の環境, 文化書房博文, 1993.
- 32) (188)永淵修:高山の大気環境と溪流水質, 技報堂出版, 2016.
- 33) (35)西條八束, 三田村緒佐武:新編 湖沼調査法, 講談社, 2016.
- 34) (42)日本陸水学会:陸水の事典, 講談社, 2006.
- 35) (171)鈴木裕一:新版 水環境調査の基礎, 古今書院, 2019.
- 36) (235)高橋明:水質汚濁の調査法 公共用水域の水質調査法と試験, 地人書館, 1963.
- 37) (239)三宅泰雄, 北野康:新水質化学分析法, 地人書館, 1976.
- 38) (218)河川環境管理財団:河川・ダム湖沼用水質測定機器ガイドブック, 技報堂出版, 2001.
- 39) (74)武田育郎:水と水質環境の基礎知識, オーム社, 2001.
- 40) (68)小島貞男:上水・井戸水の分析, 講談社, 1974.
- 41) (227)水文・水資源学会:水文・水資源ハンドブック, 朝倉書店, 1997.
- 42) (9)武田育郎:よくわかる水環境と水質, オーム社, 2010.
- 43) (86)藤永薫編集, 大嶋俊一:陸水環境化学/Limnological chemistry, 共立出版, 2017.
- 44) (30)半谷高久, 高井雄, 小倉紀雄:水質調査ガイドブック, 丸善, 1999.
- 45) (57)村上哲生, 花里孝幸, 吉岡崇仁, 森和紀, 小倉紀雄:川と湖を見る・知る・探る, 地人書館, 2011.
- 46) (268)半谷高久:水質調査法 初版, 丸善, 1960.
- 47) 農林水産省:農業(水稻)用水基準, 広域農業地域における農業用水資源の水質状況,
https://www.maff.go.jp/j/nousin/kankyo/kankyo_hozen/hozen_suisitu/suisitu_pdf/suisitu_kizyun.pdf, 2020/1
アクセス.
- 48) (17) 日本陸水学会東海支部会:身近な水の水環境科学 実習・測定編 自然の仕組みを調べるために, 朝倉書店, 2014.
- 49) 東京都水道局:東京水道あんしん診断,
<https://www.waterworks.metro.tokyo.jp/suidojigyo/torikumi/sindan/sindan.html>, 2019/9 アクセス.

- 50) 愛知県農林水産部:水質・土壌等に係る基準, 農作物の施肥基準, 2006.
- 51) (216)国包章一:水道水質管理と水源保全 各国の制度と動向, 技報堂出版, 2014.

第3章 河川・流域における電気伝導率を用いた調査法の実践的検討

3.1 本章の目的

本章では第一に実際に河川・流域の規模(空間的スケール)と抱える背景、課題の異なる中部地方・関東地方の4水系5現場を対象に、ECを指標とした各種利用法を組み合わせた調査の実践について示す。そこから各現場の総括的な考察を通じて、ECの利点・優位性について再度評価する。また一部の現場ではECを用いた調査スキームの開発まで実践する。第二にこれらの実践を基にECを活用した情報不足な河川・流域の導入的調査スキームとして提案すること、EC測定値の相対評価に資するデータベースの必要性についても触れる。

3.2 本検討における対象地(河川・流域)の全体像

3.2.1 調査対象地の分布(エリア)

これまでに中部地方・関東地方の4水系5現場を対象とした調査を展開した。対象としたスケール(小規模から大規模)順に、矢作川本川中流・白浜地先(3.3)、荒川水系落合川と南沢湧水群(3.4)、木曽川水系津屋川流域(3.5)、利根川水系霞ヶ浦(西浦)と桜川流域(3.6)、矢作川流域全体(3.7)の5現場(河川・流域)である。詳細はそれぞれの節で詳しく示し、各対象地における成果と課題・議論の総括は3.8で示す。

3.2.2 調査対象期間

各現場の主な調査時期は2016年2月から2018年3月である。3.4の荒川水系落合川と南沢湧水群については2020年1月現在も調査継続中である。

3.3 フィールド1: 矢作川本川中流・白浜地先周辺(愛知県豊田市)

3.3.1 対象地の概要と検討課題

(1) 白浜工区の位置

対象地は、矢作川本川の38.8K~39.4K付近、約0.6kmの河道(以下、白浜工区)である。白浜工区自体は低水路内左岸側に位置する(豊田市森町、御立町地先)。現場は一次支川の加茂川の合流点にも当たる。

(2) 白浜工区地点の河道特性と治水上の課題

白浜工区は本川河道湾曲部の内湾側に位置し、工区上流寄りで河床勾配が1/817から1/1246に変化する「勾配転換点」である。更に下流4.4kmに位置する明治用水頭首工(以下、頭首工)の堰上げ背水による湛水区間が、勾配転換点付近まで及んでいる。そのため河道特性上、元来土砂堆積傾向にある他、河床の二極化による河畔の樹林化も重なり、治水(洪水疎通)上の課題箇所となっていた。実際に2000年の東海・恵南豪雨の際には、白浜工区下流の左岸で溢水し、氾濫被害が発生した。

(3) 白浜工区・河道掘削と人工わんど環境の創出

河川管理者である国土交通省豊橋河川事務所は2000年の東海・恵南豪雨災害以降、順次河道整備を進め、2011年度には本章の対象地である白浜工区の河道掘削と河畔林皆伐を実施した(事業件名:平成22年度矢作川白浜河道掘削工事)。延長は約600mで、掘削し場外処分した土量は51,403m³、伐採・抜根し場外処分した量は433tにも及ぶ。一部の木本(高木)を残し、河畔林の大部分を占めていた竹類は全て撤去された。

施工により治水上の課題であった河道断面を確保するとともに、掘削後に生まれる低水路内の水際空間を活用して、河川環境の創出が試みられた。

具体的には、施工計画時から地元関係者とのワーキンググループ形式での協議が重ねられ、白浜工区全体を河床の二極化により失われた多様性のある水際エコトーンの回復を目的とした「氾濫原」と位置付け、(漁業的に価値のある)鮎以外の水生生物の生息場確保と、親水機能を合わせ持った人工わんど環境(自噴池とせせら

ぎ水路)が造成されることになった。2012 年 3 月の完工直後は更地状態であったが、その後 1 年半でタコノアシに代表される希少植物が自生するまでに植生が遷移した。

(4) 2013 年出水による土砂堆積と応答

しかし完工から 1 年半後の台風 18 号(2013 年 9 月 16 日)では、高橋地点で東海・恵南豪雨以降最大となるピーク流量 $2,514\text{m}^3/\text{s}$ を記録する出水が発生した。これにより元来土砂堆積傾向にあった白浜工区は、施工時の仕上がり面から最大で 0.5m 土砂が堆積し、ほとんどの植生が流失または埋没するという攪乱を受けた。

土砂堆積により湿性であった白浜工区の大部分は陸地化し、人工わんど環境も埋没したが、2014 年 1 月に重機を投入し再造成された。

(5) 白浜工区の出水応答と自噴池とせせらぎ水路に関するモニタリング

当研究室では、2013 年出水の大規模攪乱の翌年、2014 年 4 月から白浜工区において主に微地形、土砂粒径、植生等の出水応答について、「河川の相互作用系」に着目したモニタリングを開始した。また自噴池とせせらぎ水路の水質、流量、差圧等も同様にモニタリングを開始した¹⁾。更に現場に攪乱機能を与える外力としての出水(水流)は極めて重要な要素であり、前項の出水応答に関するモニタリングを実施するに当たり、本川の水位変動をどのように評価するかが課題となった。そこで対象地を含むミドルレンジにおいて、縦断水位連続観測による河道水理特性の把握手法を開発した。これについては、論文²⁾としてまとめており 1.4 でも示した。その他の個別のモニタリングについても当研究室の卒業研究として示されており直接的には触れない。本稿では自噴池とせせらぎ水路を中心とした白浜工区周辺における EC を指標とした水質モニタリングについて示す。

なお「矢作川流域圏懇談会³⁾」の川部会においては、白浜工区を「本川モデル」と位置づけ、モニタリング結果についてフォローアップする体制が取られた。

3.3.2 調査(研究)目的

以上の背景から整備された人工わんど環境の自噴池とせせらぎ水路であったが、当初期待されたほどの伏流水の復帰は見られない結果となった(後の縦断水位連続観測による河道水理特性の把握から、現場脇の本川河道が湛水域に接続し水面勾配がほとんどないことに起因)。そのため滞留性の高い水域となっていることから魚類等の生物の生息場としての影響評価、現場の砂州を取り巻く伏流水流動への関心が高まった。そのため、①魚類の生息状況と水質の関係(兼・水生生物観察)、②水質面からわんどの湧水(伏流水)起源の推定を目的とした調査を実施することとした。本稿では②について示す。

3.3.3 調査(研究)方法

調査地点は人工わんど環境の自噴池とせせらぎ水路を中心に、矢作川本川と支流の加茂川を含めた 13 地点を設定した。現場の位置と調査地点は図 3-3-1 に示す。調査期間は 2016 年 2 月から 2017 年 1 月にかけて全 23 回(月 2 回程度)実施した(1年間継続)。調査項目は東亜ディーケーケー社製のポータブル電気伝導率・pH 計 WM-22EP を用いて EC の他、水温、NaCl, pH, ORP を測定した。不定期でイオン分析のためのサンプリングを実施した。サンプルは $0.45\mu\text{m}$ のシリジフィルターにより濾過しストックした。その他に現地の気温測定、現地状況の撮影等を実施した。



図 3-3-1 白浜工区周辺図と調査地点 (EC の年間中央値)

3.3.4 調査結果と考察

測定結果のうち、水温、pH、EC について図 3-3-2～3-3-5 に示す。

図 3-3-2 の水温は年間の季節変化のカーブを捉えることができた。水温変動幅(年間)は、本川との接続が途切れた「溜り」状の水域が最大である。データを春・夏期と秋・冬期に分けた結果が図 3-3-3 である。水温は共通して本川よりわんどの方が高く、秋～冬期にその傾向が顕著に表れている。

図 3-3-4 の EC は本川、わんど、加茂川で傾向が異なる(地点ごとの差が顕著)ことが明らかになった。EC の年間中央値を図 3-3-1 上に示す。また EC は流量が減少する(降雨が少ない)と上昇し、流量が増加すると低下する傾向が見られる。特に本川の値は低く、加茂川は値が高い。わんどは地点によって傾向が異なり、上流側は、本川と加茂川の間値的な値、中流側は高い値、下流側は低い値となっている。

図 3-3-5 の pH は年間を通じてやや高め傾向にある。観測が日中のため藻類の光合成が活発なためと考えられる(光合成で水中の CO_2 が減少することによる)。

以上、特に EC の傾向から、わんどの湧水起源は、本川の伏流水よりも河床が本川に比べて高い加茂川からの伏流水が支配的であることが考えられる。EC の傾向を詳しく見ると、上流側では本川系と加茂川系の水が混じることにより中間的な値を示し、中流側はほぼ加茂川に近い値を示し(上流からの流入は微量のため希釈効果は低い)、下流では本川と接続していることによる水交換が起こるため低値を示していると考えられる。加茂川からの伏流水流入の裏付けとして、別途実施した地下水位観測の結果やわんど水際での差圧の測定結果もこれを支持している。

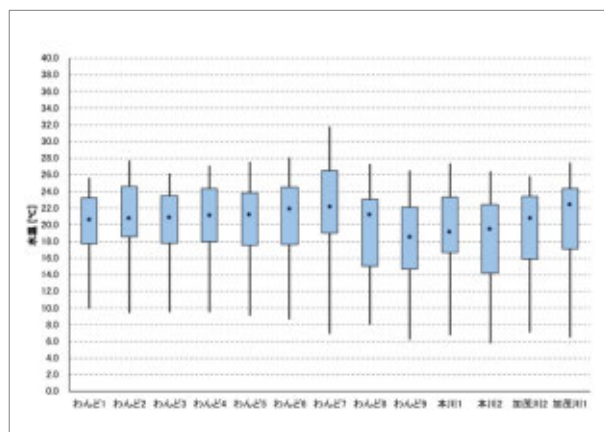
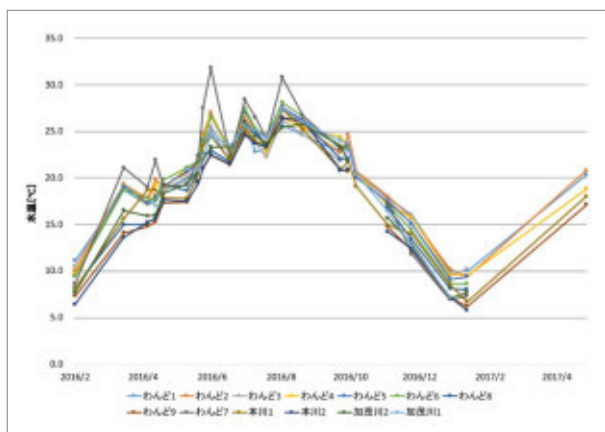


図 3-3-2 水温の時間変化と年間変動幅

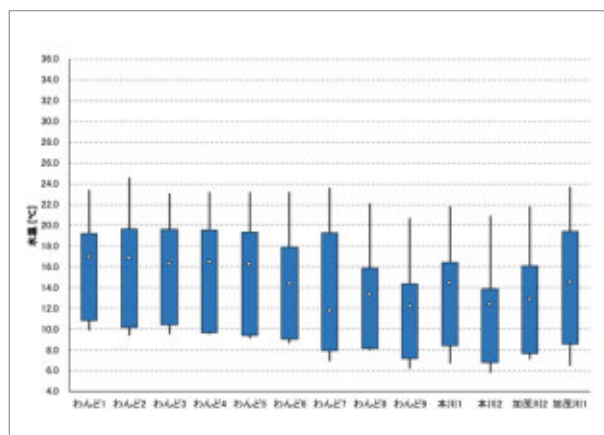
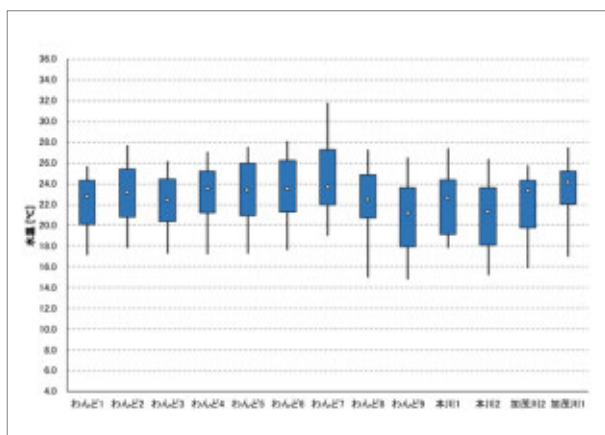


図 3-3-3 水温の変動幅(左:春季～夏季, 右:秋季から冬季)

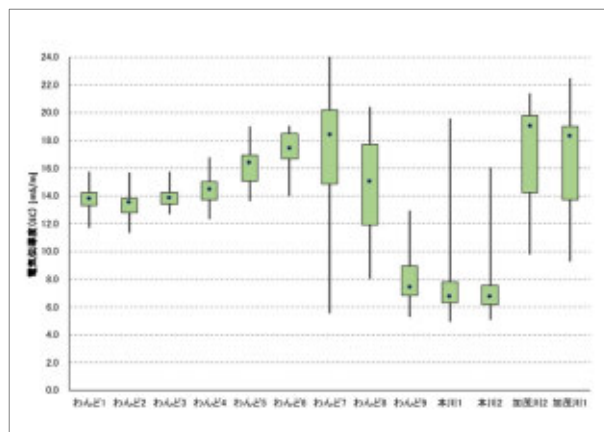
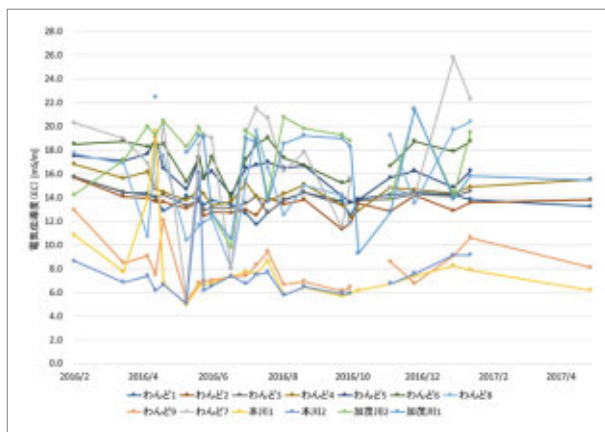


図 3-3-4 EC の時間変化と年間変動幅

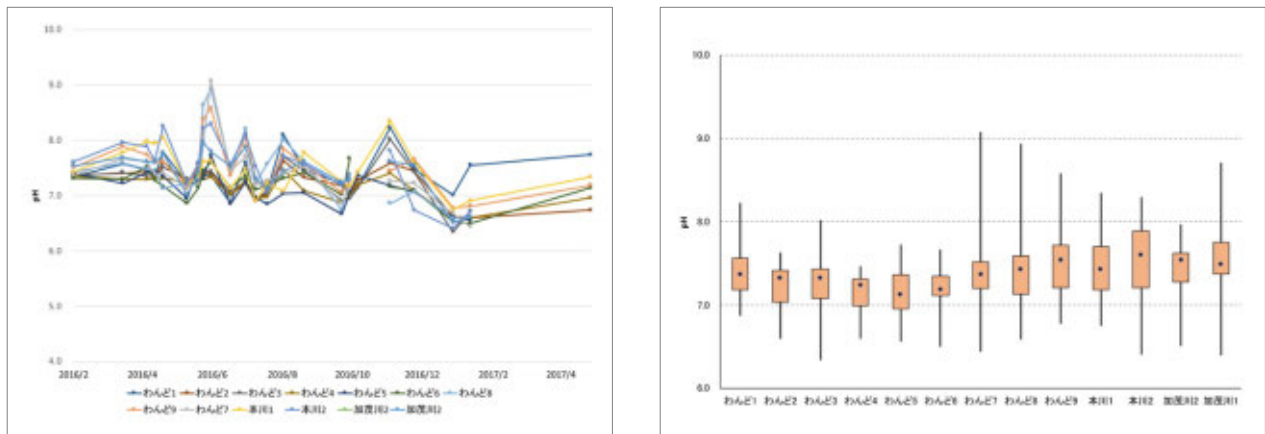


図 3-3-5 pH の時間変化と年間変動幅

3.3.5 まとめと今後の課題

今回の調査から人工わんど環境における自噴池とせせらぎ水路及び周辺の水質変動の概況を捉えることができた(特に本川、加茂川との違い、わんど内の特性等)。また、支川間の EC の差が顕著であったことから、EC を利用したわんど湧水の起源(伏流水の流動)の推定により、わんどの水循環を改善するための議論に資する情報を提供することができた。

また複数地点及び年間を通じての繰り返し調査により、魚類等の生物の生息場を評価する上で重要な情報となる白浜工区周辺のローカルな水温、pH、EC 等の季節変動等、きめ細かな傾向が捉えられた。この知見は 3.5 で示す木曾川水系津屋川の調査に活かされた。

また今回の調査から、矢作川本川に比べてわんど、加茂川の EC は相対的に高いが、そもそも比較対象の矢作川本川の EC は他河川に比べて著しく低値であることが示唆された。その後、実態把握のため白浜工区の上流(越戸ダム～西尾緑地区間)と横流入する支川について EC を測定し検討した結果、流域面積の大きい巴川を除き、同様の傾向が見られた(巴川の EC は低値)。この知見は 3.7 で示す矢作川流域全体の調査のきっかけとなった。

3.3.6 成果の公表とリアクション(議論と課題)

以上で得られた結果について、2020 年 1 月現在、計 2 回の発表を実施した。中間的な結果を 2016 年 12 月に開催された矢作川流域圏懇談会の第 37 回川部会 WG において発表した⁴⁾。意見交換では pH や水温の傾向についての質問、魚類におけるわんどの湧水の重要性、観測データ蓄積への期待など活発な議論が展開した⁵⁾。一連の結果は 2017 年 3 月に開催された豊田市矢作川研究所主催の第 13 回矢作川学校ミニシンポジウムにおいて発表した⁶⁾。また白浜工区における伏流水の挙動が顕著に捉えられるという観測に基づき、2016 年 10 月には現場に隣接する豊田東高校の環境学習の一環として、水質、地下水位、差圧等を測定するワークショップを大同大学の鷺見研究室が担当した。その際の結果についても、同ミニシンポジウムで豊田東高校の生徒が発表した⁶⁾。

その後の検討から 2018 年度末にわんどの改良工事が実施された際、本川伏流水の引き込みを促す目的で、本川際からわんど上池にかけて開削し、粒径の大きな石材で埋めもどすことにより、透水性を高くした流動帯が新たに整備された。

3.3.7 参考文献(3.2)

- 1) 吉川慎平:流域総合管理に資する河川・水文情報の高度化に関する研究 ～矢作川流域圏をモデルとして～, 大同大学大学院修士論文, 2017.
- 2) 吉川慎平, 鷺見哲也:施工を伴う河川環境創出スキームへの実装を目的とした高密度な河道水理特性の事前的把握手法, 土木学会水工学委員会河川部会 河川技術論文集 Vol.23 pp.585~590, 2017.

- 3) 国土交通省中部地方整備局豊橋河川事務所:矢作川流域圏懇談会 Web,
<http://www.cbr.mlit.go.jp/toyohashi/kaigi/yahagigawa/ryuiki-kondan/index.html>, 2019/9 アクセス.
- 4) 吉川慎平:矢作川白浜工区周辺水域 水質調査結果(中間), 矢作川流域圏懇談会第 37 回川部会 WG 資料 2 白浜地区モニタリング報告, 2016.
- 5) 矢作川流域圏懇談会事務局:矢作川流域圏懇談会通信 H28 川部会編 Vol.7, 2017.
- 6) 豊田市矢作川研究所:Rio 豊田市矢作川研究所季刊誌 2017 年 04 月号, 2017.

3.3.8 関連発表・論文

(1) 関連発表

- [1]. 吉川慎平, 鷺見哲也:矢作川白浜工区河道掘削後モニタリングのための縦断水位連続観測について, 国土交通省豊橋河川事務所 矢作川流域圏懇談会第 31 回川部会 WG, 2015.
- [2]. 吉川慎平, 鷺見哲也:平成 27 年度土木学会中部支部研究発表会, 矢作川白浜工区河道掘削後モニタリングのための縦断水位連続観測, 2016
- [3]. 吉川慎平, 鷺見哲也:河道掘削時に造成された低水路内人工ワンド環境の維持に関する考察, 平成 28 年度土木学会全国大会 第 71 回年次学術講演会, 2016.
- [4]. 吉川慎平, 鷺見哲也:施工を伴う河川環境創出スキームへの実装を目的とした高密度な河道水理特性の事前的把握手法, 土木学会水工学委員会河川部会 2017 年度河川技術に関するシンポジウム, 2017.
- [5]. 吉川慎平, 鷺見哲也:矢作川・白浜工区周辺水域の水質と水生生物相調査結果について, 国土交通省豊橋河川事務所 矢作川流域圏懇談会第 37 回川部会 WG, 2016.
- [6]. 吉川慎平:矢作川・白浜工区人工わんど周辺の水生生物と水質の傾向から, 豊田市矢作川研究所 第 13 回矢作川学校ミニシンポジウム, 2017.

(2) 関連論文

- [1]. 吉川慎平, 鷺見哲也:矢作川白浜工区河道掘削後モニタリングのための縦断水位連続観測, 平成 27 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 2016.
- [2]. 吉川慎平, 鷺見哲也:河道掘削時に造成された低水路内人工ワンド環境の維持に関する考察, 平成 28 年度土木学会全国大会 第 71 回年次学術講演会講演概要集, 2016.
- [3]. 吉川慎平:流域総合管理に資する河川・水文情報の高度化に関する研究 ～矢作川流域圏をモデルとして～, 大同大学大学院修士論文, 2017.
- [4]. 吉川慎平, 鷺見哲也:施工を伴う河川環境創出スキームへの実装を目的とした高密度な河道水理特性の事前的把握手法, 土木学会水工学委員会河川部会 河川技術論文集 Vol.23 pp.585~590, 2017.

3.4 フィールド 2: 荒川水系落合川と南沢湧水群 (東京都東久留米市)

3.4.1 対象地の概要と検討課題

落合川は荒川水系黒目川の主要支川で, 東京都東久留米市内に終始する全長 3.4km, 流域面積 6.8km² (直接)の中小河川であるが, 全区間が都管理の一級河川に指定されている(図 3-4-1)¹⁾. 支川として全長 2.3km の立野川(普通河川)の他, 複数の小流が存在する(図 3-4-2).

流域は武蔵野台地上の浅い谷間に位置し, 水源は関東ローム層中及び武蔵野礫層面から湧き出る地下水に依存し, 標高 50m 付近に表れるこれらの湧水帯は「南沢湧水群」と称される. 湧出量は落合川最下流で 5 万 m³/day とされ, そのうち 1 万 m³/day が代表的な湧水地である南沢緑地からの湧出というのが定説である. 2008 年には環境省の「平成の名水百選」に選定(図 3-4-3)され, 近年は「多自然川づくり」の事例(図 3-4-4)としても全国的に名高い. 希少動植物ではホトケドジョウや, ナガエミクリ等が生息する²⁾.

現在の落合川水系の河川と湧水は, 河川環境面で比較的安定した状態にあり「都内でも有数の清流」と評さ

れるなど「郷土財」としての行政・市民の認知も高まりつつある。しかし周辺の都市化に伴う水質汚濁や流量減少、河川改修(断面拡幅や直線化)、間接流域の付与(雨水幹線接続)等、典型的な都市河川化の変遷を辿っており、環境の悪化によりムサントミヨ等、当地では絶滅した種もある。一方で現在の状態まである程度環境が再生(回復)した根底には、安定的な地下水(湧水)の供給があり、その保全は将来にわたり重要な課題である。

しかしながら、流域における水文プロセスの全貌は未知であるなど、当地の保全に資する知見が不足しているのが現状³⁾で、また今後未実施の落合川の更なる断面拡幅(河床掘削)や調節池の整備、複数の湧水地(沢頭)上に線引きされている都市計画道路建設の影響が懸念される⁴⁾。加えて現在も周辺の住宅地化・商業地化が進行しており、これによる雨水浸透量減少の懸念以上に、流出した雨水排水のために支川立野川の河川改修計画が浮上するなど、河川環境の現状維持すらも困難な状況に陥ることが予測されており、その影響評価や緩和、代替措置等の事前的検討が急務となっている。



図 3-4-1 東久留米の位置と水系



図 3-4-2 調査対象地と調査地点

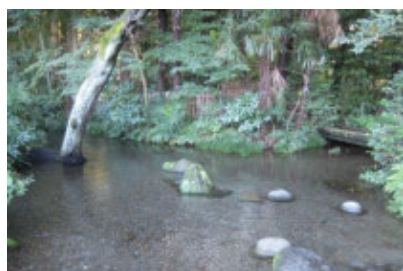


図 3-4-3 南沢湧水(南沢緑地保全地域)



図 3-4-4 落合川(憩いの水辺)

3.4.2 調査（研究）目的

以上を鑑み、本研究では落合川水系の河川と湧水を対象に、基礎的な水質・水文調査を開始することとした。2018 年は継続的な調査実施の当たりをつけるため水質に重点を置き、多地点かつ月次の調査から地点ごとの傾向と地点間の差異を捉えることを目的とした。

3.4.3 調査（研究）方法

調査は従来当地では有機系の汚濁指標が用いられたが、近年の水質改善を受け、地下水・湧水調査で用いられる EC を主な指標とした。全 50 地点で東亜ディーケーケー社製のポータブル電気伝導率・pH 計 WM-32EP を用い水温、EC、NaCl、pH、ORP（別途、気温）を測定、そのうち主要 10 地点でイオン分析用のサンプリングと、イオンメータ（HORIBA LAQUAtwin）を用い Ca^{2+} 、 Na^{+} 、 K^{+} 、 NO_3^{-} を簡易測定、更にそのうち黒目・落合・立野川の代表 3 地点でパックテストを用い COD、 $\text{NO}_2^{-}\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ の値を測定した。期間は 2017 年 12 月 2018 年 12 月にかけて毎月 1 回実施した（2019 年 12 月現在も調査継続中であるが本稿では同期間の結果を示す）。

平行して一部地点で河川水位と、学校法人自由学園構内において雨量、地下水位（浅井戸）の観測を実施した。

3.4.4 調査結果と考察

図 3-4-5 の水温は湧水が通年 $17^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 程度で安定しており、河川も $10 \sim 24^{\circ}\text{C}$ の範囲に収まっていた。

図 3-4-6 の EC は一部の横流入水（汚水）と黒目川を除き、 $20 \sim 25\text{mS/m}$ の範囲にあり、明確な差は認められないものの観測データの蓄積により、傾向として落合川上流、下流、その他支川と立野川の 3 グループに分かれることが明らかとなった。黒目川は無機系工場排水由来の高値が確認された（工場稼働状況により変動）。

図 3-4-7 の pH は中央値で 6.7 前後であるが、湧水（湧出部）は 6.2 以下の低値を示した。3 河川の下流部では 7.0 を超える高値が確認された。繁茂する水生植物、その他の影響が考えられる。硝酸イオン（ NO_3^{-} ）はやや高値が確認された。周辺の農地由来（施肥）、その他の影響が考えられる。図 3-4-8～3-4-11 に Ca^{2+} 、 Na^{+} 、 K^{+} 、 NO_3^{-} の簡易測定結果を示す。

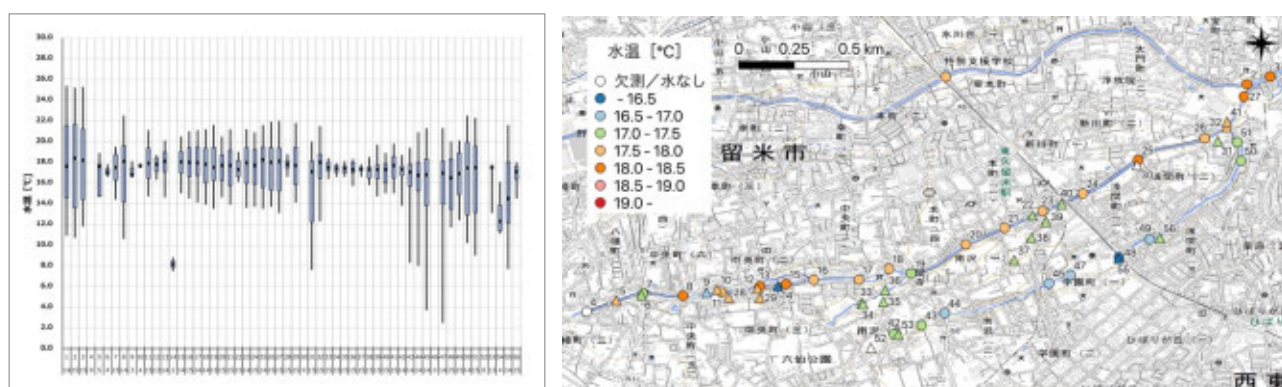


図 3-4-5 水温の分布（中央値）と地点ごとの変動幅（右：数字は地点番号）

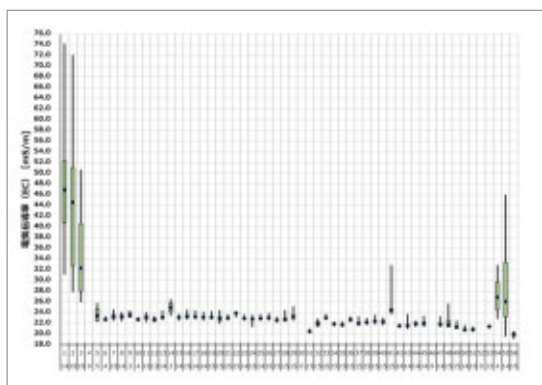


図 3-4-6 EC の分布(中央値)と地点ごとの変動幅(右: 数字は地点番号)

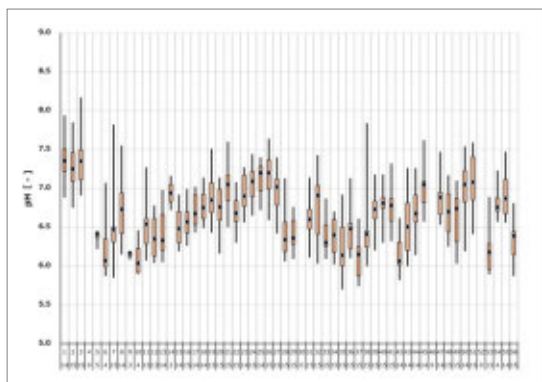


図 3-4-7 pH の分布(中央値)と地点ごとの変動幅(右: 数字は地点番号)



図 3-4-8 Ca^{2+} の分布(中央値)



図 3-4-9 Na^{+} の分布(中央値)



図 3-4-10 K^{+} の分布(中央値)



図 3-4-11 NO_3^- の分布(中央値)

3.4.5 まとめと今後の課題

今回 50 数箇所という多地点での水質調査を 1 年間に渡り継続した結果、水質の傾向や地点間の差異をある程度捉えることができた。今後の課題・方向性として以下が挙げられる⁵⁾。

①定期的な水質調査の継続。イオンクロマトグラフィーによるサンプルの詳細なイオン分析。②水文調査とし

て、流量観測地点を設定し定期的な観測の実施と水位流量曲線の算出、流出解析等。③水質・流量の日変動性、降雨時(出水時)の調査についての検討。④各種データロガーを用いた連続観測(水質・水文)の検討。

3.4.6 成果の公表とリアクション（議論と課題）

以上で得られた結果については、2020年1月現在、計1回の発表を実施した。詳細は3.4.8のリストに掲載した。

3.4.7 参考文献（3.3）

- 1) 東京都建設局:荒川水系黒目川流域河川整備計画(都管理), 2006.
- 2) 東久留米市:平成の名水百選 落合川と南沢湧水群, 2009.
- 3) 東久留米の水循環を勉強する会:東久留米・黒目川流域の水の今とこれから—東久留米の水循環を勉強する会・統括報告書—, 2019.
- 4) 東京都都市整備局:都市計画情報等インターネット提供サービス,
https://www2.wagmap.jp/tokyo_tokeizu/Portal, 2019/1 アクセス.
- 5) 吉川慎平, 鷺見哲也:荒川水系落合川と南沢湧水群周辺の基礎的水質・水文調査, 第53回日本水環境学会年会講演集, 2019.

3.4.8 関連発表・論文

(1) 関連発表

- [1]. 吉川慎平, 鷺見哲也:荒川水系落合川と南沢湧水群周辺の基礎的水質・水文調査, 第53回日本水環境学会年会, 2019.

(2) 関連論文

- [1]. 吉川慎平, 鷺見哲也:荒川水系落合川と南沢湧水群周辺の基礎的水質・水文調査, 第53回日本水環境学会年会講演集, 2019.

3.5 フィールド 3: 木曽川水系津屋川流域（岐阜県養老町・海津市）

3.5.1 対象地の概要と検討課題

(1) 津屋川流域の概要・地形的特徴と湧水

津屋川は、濃尾平野の西端、養老山地東麓を流れる木曽川水系揖斐川の一次支川(一級河川)である(図3-5-1)。流域は岐阜県養老町、海津市にまたがり、本川流路延長12.6km、本川流域面積は44.3km²である¹⁾。

地形は流域中央部を縦断(南北)方向に走る養老・桑名断層により生じた活断層崖(急崖)を基盤としており、横断(東西)方向の地形は、標高1~3mの本川筋(低平地)から600~800mの尾根筋(山地)へ2~4kmの距離で急激に立ち上がっている。地質は大部分が堆積岩を主体としているが、上流には石灰岩ブロックが存在することがわかっている。また山麓には山地の複数の谷から供給された砂礫が厚く堆積し、複合扇状地帯を形成している。そのため谷間の沢筋は、扇状地区間に入ると天井川を形成し、流路は扇端部で本川へと接続しているが、表流水については、当該区間ではほぼ全量が伏流(平常時)し、砂礫層中に浸透している^{2),3)}。

こうした地形的特徴と湧水の存在は密接に関係しており、山麓と低平地の境界を流れる本川河道付近でみられる湧水は、複数の沢筋からの伏流水・浸透水が主な起源となっている。津屋川本川はこのような複合扇状地扇端部に現れる湧水を縦断方向に集めながら流下するタイプの湧水河川と位置付けられる。



図 3-5-1 津屋川本川流域(中流湧水群^{*1})と調査地点

(2) 湧水環境依存種「ハリヨ」の生息条件と現状

津屋川には営巣する魚として知られるトゲウオ科のハリヨ (*Gasterosteus microcephalus*) が生息している(図 3-5-2)。日本固有種で滋賀県と岐阜県の一部のみに生息し、環境省レッドリストでは絶滅危惧ⅠA 類に分類される。ハリヨは冷水性の魚であり、津屋川は世界のトゲウオ科の分布南限の一つとされ、その生息条件は水温 20℃以下(営巣適温は 13～18℃と更に低い)⁴⁾であり、地下水の量的な供給によって質的に水温が低位安定した湧水環境という生息場に大きく依存した種と位置付けられる。

ハリヨの現状として、現在は本川に接続した数箇所の湧水池周辺にのみ生息しているが、かつては本川をはじめ地域で身近に見ることができた魚であった⁵⁾。しかし 1980 年代以降、水域の消滅(開発に伴う埋め立て)、湧水の減少、水質の悪化、外来種の侵入等、生息場の劣化に加え、観賞魚としての密漁もあり、生息地・個体数が激減している⁶⁾。代表的な生息地である「津屋川水系清水池ハリヨ生息地(以下、清水池)」に関しては、1981 年に旧南濃町(現・海津市)の天然記念物に、2012 年には、国の天然記念物に指定され、同市では 2015 年に保存管理計画案⁷⁾を策定し、現状の生息地の保存と、生息場の回復に向けた検討を始めている。



図 3-5-2 婚姻色のハリヨ♂ (アクア・トト ぎふにて著者撮影)

3.5.2 調査（研究）目的 ハリヨ生息地保全を目的とした湧水機構の推定

ハリヨの保全には、その生息場として質的・量的に良好な湧水環境を保全することが合わせて必要である。しかし生息場の現状について、清水池周辺のローカルな湧水機構や、水質・流量の季節変動等、水文・水質に関する定量的なデータが不足している状況であった。そこで2015年5月より湧水環境の現地調査を実施した^{8)~12)}。

3.5.3 調査（研究）方法

(1) 中流湧水群・津屋川本川の水質観測

範囲は清水池をはじめとした中流湧水群[†]に重点を置き、本川上下流[‡]、山地の主要な沢筋、上下流の湧水池も対象とした。調査地点を図3-5-1上に示す。期間は予備調査も含め2015年5月～2018年3月まで月1～2回の頻度で計52回実施した(各回で地点数は異なる)。項目は東亜ディーケーケー社製のポータブルEC/pH計WM-22EP/32EPを用いて、水温、EC、NaCl、pH、ORPの他、気温、イオン分析用のサンプリングを実施した。本稿では、水温と水の起源の見当をつける指標として注目したECの結果について、中流湧水群と本川上下流に分けて示す。

(2) 津屋川本川縦断の流量観測

期間は2017年5月～10月まで、月1回の頻度で計6回実施した。電磁流速計(KENEK, VE10)を用いた1点法を基本とし、流れ幅・水深に応じて適宜断面分割した。地点は本川9、本川から低平地側への取水樋管5、本川に横流入する主要な湧水池系5、主要な沢筋の山地区間末端6の計25地点とした(図3-5-1)。なお、本川は湛水区間のため観測が困難な下流と、用水路である最上流を除いた上中流の6.8km(3.9～10.7km)を対象区間(以下、本川縦断[§])とし、中間地点の設定は、後述する水質(EC)の結果に見られたステップ状の低下を参考にした。本稿では、本川縦断関係の結果について示す。

3.5.4 調査結果

(1) 水質観測の結果(水温とEC)

a) 中流湧水群(清水池)周辺の水温変動

定点観測で得られた水温データの分布を図3-5-3に示す。清水池は16℃前後で保たれており、その他の湧水池も良好な水温環境であることが明らかとなった。また湧水池の系統ごとに若干の差異が見られ、北部浄水公園は17℃前後と全体に高く、逆に一部の湧水点では15℃前後と低い。一方変動幅をみると、湧水池は小さく、本川は大きいことがわかった。そこで並行して実施した連続観測による水温の変動を図3-5-4に示す。観測にはペンダントロガー(UA-002)と、ミニダイバー水位計(DIK-611A)の水温データを使用した。結果は定点観測と同様に、湧水池は15～18℃程度と安定的であるのに対し、本川は6～25℃程度と季節変動が大きく、特に夏期は20℃を超過することが確認された。この時湧水池間と本川間に5～6℃程度の水温ギャップが生じており、湧水池間のハリヨの移動阻害要因となっている可能性が示唆された。

[†] 中流湧水群：本川5.5～6.1kmに位置。本川水域と、本川に接続する清水池、北部浄水公園付近の湧水と定義。

[‡] 本川上下流：下流は津屋川水門直下流(0km)、上流は流水の連続性から津屋川逆水門(源氏橋)より上流の用水路にある揚水機場(11.3km)間と定義。

[§] 本川縦断：本川上下流のうち、流量観測の対象としたハリヨ橋(3.9km)～津屋川逆水門(源氏橋)より上流の無名橋(10.7km)間6.8kmと定義。

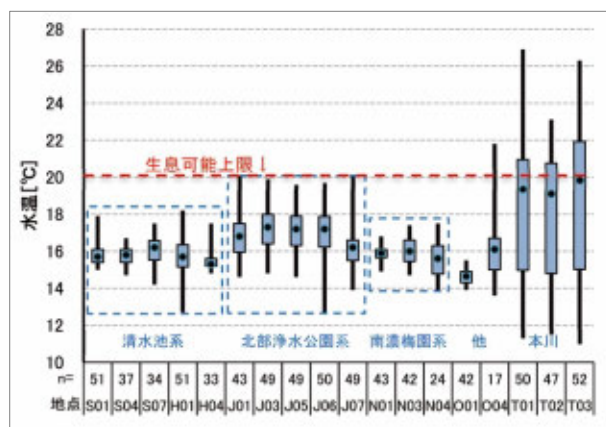


図 3-5-3 中流湧水群周辺の水温の分布(主要地点)



図 3-5-4 本川・湧水池水路での連続観測の結果(日平均)
(2015/8/2~2017/7/17)

b) 中流湧水群(清水池)周辺の EC 変動

定点観測で得られた EC データの分布を図 3-5-5 に示す. 結果をみると, 水温同様に湧水池と本川間の差異は更に顕著に現れており, 湧水池は 10mS/m 程度と安定的であるが, 本川は相対的に高く, 変動幅も非常に大きいことが確認された. また水温が低い一部の湧水点, EC についても低いことから, 湧水の中でも浅層・深層等, 地下水ソースが複数存在することが示唆された.

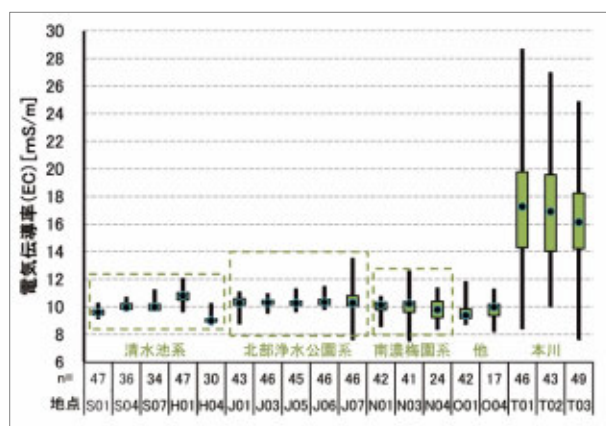


図 3-5-5 中流湧水群周辺の EC の分布(主要地点)

c) 本川上下流の水温変動

中流湧水群付近の本川水質の結果を受け、本川上下流の変動を詳細に捉えることとした。定点観測で得られた水温変動の結果を図 3-5-6 に示す。図中の[▲]は横流入する湧水池系の細流、排水等である。結果をみると、津屋川下流部(0～7km)は湛水区間となっており、湧水池系と比べ夏期は全体に高く下流部で上昇傾向、冬期は全体に低く下流部で低下傾向にある。また最上流部では、工場からの断続的(不定期)な熱排水の流入があり局所的な上昇がみられるが、その下流では低下している。調査回によって影響が見られない場合もあるが(2017 年 2 月, 2016 年 12 月), これは工場の操業状態と関係し熱排水の流入が顕著でなかったことを示している。なお、少雨による渇水時(流水が不連続)は、下流部を除いてバラツキが大きい。

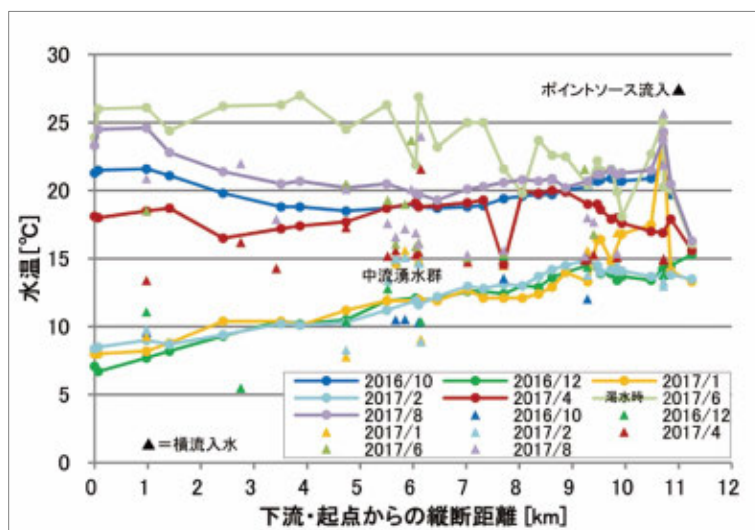


図 3-5-6 本川上下流での水温変動

d) 本川上下流の EC 変動

同じく定点観測で得られた EC 変動の結果を図 3-5-7 に示す(図中の[▲]は水温と同様)。結果をみると、最上流部に EC が高いポイントソースの存在が明らかとなった。横流入水の調査から c) で示した熱排水源とは別のソースであることが確認されている。これによって急上昇した EC は、流下するに従って徐々に低下していく過程が顕著に現れ、しかもその低下は一定率でなくステップ状であることが確認された。渇水時は水温と同様にバラツキが大きい。なおハリヨの生息に対する EC(無機イオン類の総量)の高低の直接的な影響は明確ではない。

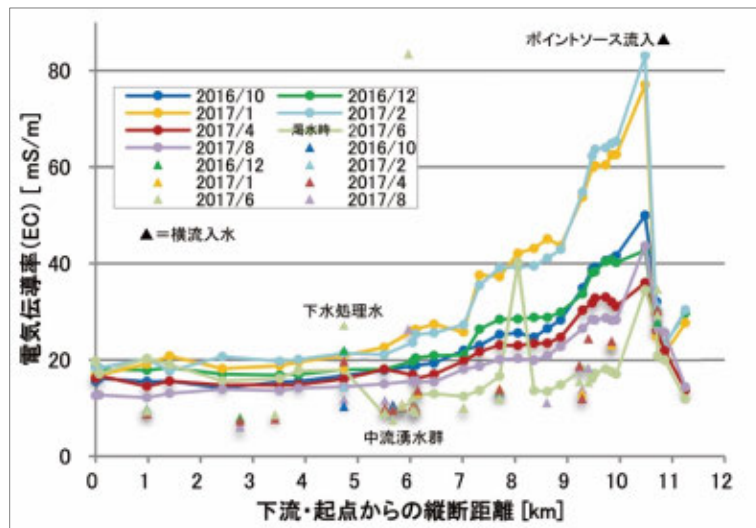


図 3-5-7 本川上下流での EC 変動

(2) 流量観測の結果

定点観測で得られた本川縦断での流量変動の結果を図 3-5-8 に示す。図中の[▲]は横流入する主要な湧水池系である。直接観測が可能な明示的な横流入水(水路等)の流量についても図 3-5-8 中に掲載した。

結果をみると、中間で取水されているケースもあるが、増水時から増水時まで異なる流況時のデータが得られた。全体的に流量の増加は一定率ではなく、ステップ状であることが明らかとなった。流量増加の集中は 2 区間で明確に見られた。そのうち、5～6km は中流湧水群と重なり、横流入する 4 地点の流量を合算すると、この区間での増加量の 7 割程度であった。7～8km は明示的な湧水池 1 地点の流量では不足し、多数の非明示的な湧水が当該区間での増加に貢献していることが分かった。一方で 10～11km 付近は増水時を除いて増加がみられず、流量は乏しい状況であることもわかった。

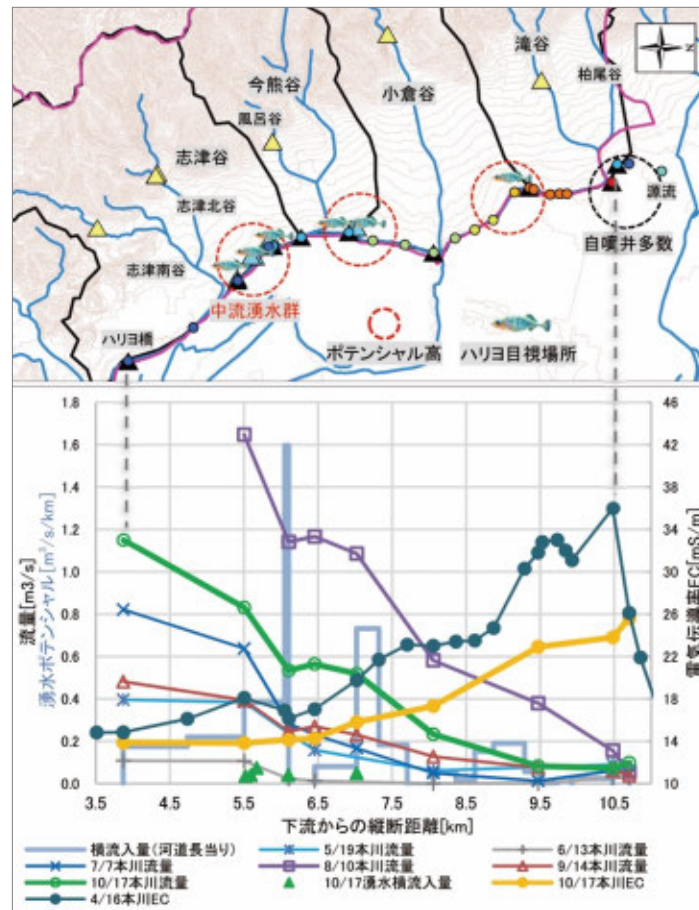


図 3-5-8 (上) 本川縦断区間拡大図

図 3-5-9 (下) 本川流量・EC の縦断分布と横流入量

3.5.5 湧水ポテンシャル分布の評価と生息場回復の優先箇所検討

(1) 水温・EC・流量の結果からみた評価

3.5.4(1)c,d で示した本川縦断での水質観測の結果において、水温・EC 共に 最上流部におけるポイントソースによる上昇が流下するに従って低下していく過程が見られるが、これは横流入する湧水による冷却(水温)、希釈(EC)効果によるものである。特に EC はステップ状の低下が顕著であるが、これは区間ごとの希釈効果を示しており、値が急激に低下する区間では希釈効果が大きく、そうでない区間は小さいことを意味している。

裏付けとして流量と流量観測地点の EC の結果とを照らし合わせた結果が図 3-5-9 である(10 月 17 日のみ対応)。EC の低下と流量が増加の対応関係が全体として認められた。更に計測地点の粗い流量ときめ細かい EC の両方のデータを用いて、横流入量の分布の推定を試みた。

ある2つの隣接する流量計測区間の間に EC の計測地点が1つ以上ある場合について検討する。その上流側と下流側の値を、流量を $[Q_U, Q_D]$ とし、EC 値を $[C_U, C_D]$ とする。この区間の横流入量 $[Q_D - Q_U]$ に対する EC の平均値 $[C_{in}]$ は、式(3-1)で表し便宜上一定値とする。

$$C_{in} = (C_D Q_D - C_U Q_U) / (Q_D - Q_U) \quad (3-1)$$

その中で EC 計測点の上流側から数えて i 番目と $i-1$ 番目の小区間の推定横流入量を q_i とすると、小区間ごとの物質と水の連続式から次の漸化式である式(3-2)を得る。

$$q_i = Q_{i-1} (C_{i-1} - C_i) / (C_i - C_{in}), Q_i = Q_{i-1} + q_i \quad (3-2)$$

これを小区間の距離で除して河道長さ当たりの横流入量の分布を描くことができる。ここでは別々に計測した流況に近いケース(EC:4月16日, 流量:10月17日)を組み合わせ推定した一例を図3-5-8中に併記した。 C_{in} を一定に扱ったことや流量計測誤差等から負値が現れる区間もあるが、ここでは正值のみを扱う。結果、当該区間においては3つのピークが表れた。最大のピークは中流湧水群と一致し、現地状況とも対応しているが、上流部の2つの小・中のピークは、現地状況に照らしても可視的でない(見た目ではわからない)。本検討からこのような現地状況、流量観測(多地点調査が現実的でない)のみでは可視化できない湧水の集中区間を特定できることが分かった。

以上、水温・EC・流量から湧水ポテンシャルが高い区間を総合的に評価すると、5.5～6.0km, 7.0～7.5km, 9.0～9.5km 付近と位置付けられる。10地点のみの流量データよりも、30地点のECと水温データを参照することで、よりきめ細かい区間の絞り込みが可能となった。

(2) 水収支からみた評価

ここではやや大きいスケールで各支川(沢筋)において伏流する流量のうち、どの程度本川に湧水として復帰しているかを検討する。観測流量を基に、図3-5-10のように2つの流量を比較した。横軸は各支川の山地計測流量を、地点上流域面積と支川全体流域面積の比で割り増して得た推定支川流出量 Q_i をとる。縦軸に各扇状地に対応する本川区間について、上下流の流量差($Q_{out}-Q_{in}$)に取水流量 Q_r を加えて得られる区間推定湧水量をとる。図3-5-10からは小倉谷と志津谷(志津北谷+南谷)の区間では両流量は同程度で、扇状地からの伏流水・浸透水は全量程度本川に復帰している。しかし滝谷区間では実湧水量が少なく、仮定した流域面積や流出高の実態との誤差があるとしてもここまでの差は説明できない。つまりは流域外へのリークは明らかで、主に低平地側(流域外)に存在する自噴井等(図3-5-11)への流失と対応することから、本川に獲得する余地があることがわかった。

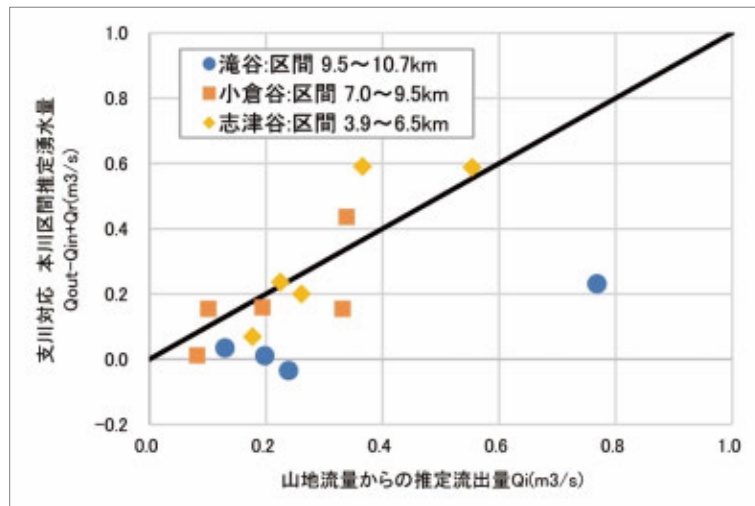


図 3-5-10 支川(沢筋)推定流出量と本川収支の比較



図 3-5-11 流域外の自噴井

(3) 湧水ポテンシャルと地形の対応関係

以上の評価を図 3-5-8 の地図上に重ねて示す。湧水ポテンシャルと地形の対応関係を見ると、流量増加が集中する区間は、並列する扇状地扇端の交差部・境界部の窪んだ部分に当たり、逆に流量増加が少ない区間は、扇端正面部分に当たることが明らかとなった。複合扇状地地形下において、このような現象が見られた理由について検討・考察を加える。

図 3-5-12 は複合扇状地帯を「模擬」した地形(小倉谷を想定)での平面 2 次元浸透流解析の結果の概要である。山側を不透過条件とし、その谷筋幅 100m から 200L/s を浸透供給し、川側を半径 900m の扇形地形を滑らかに接続した形で水位一定の境界条件とした。下端面を標高-5m の水平不透過面上での(透水係数 $k=0.1\text{cm/s}$) Dupuit—Forchheimer 仮定で定常解析¹³⁾を行った。

流量ベクトルが示すように扇状地扇頂から拡散した流れは、扇端の隣合う窪んだ区間に集中した。その南北長さ当りの湧水量は扇頂正面の約 3.5 倍と集中する。地下水理学的検討により連続扇状地の扇端の平面線形と谷の位置関係が、このような湧水ポテンシャル分布をもたらしものと推定する。

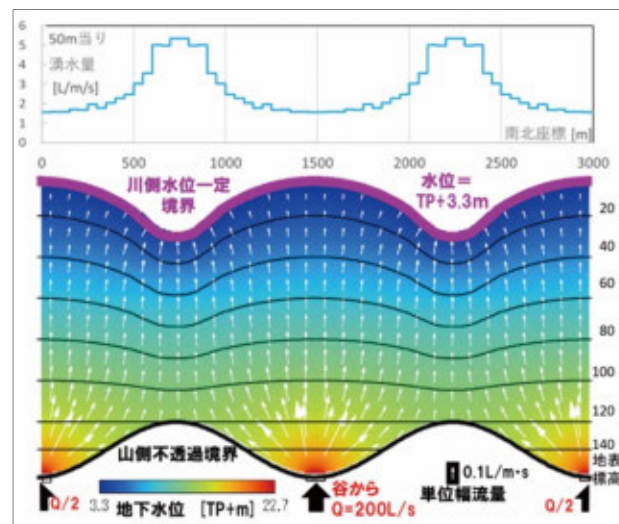


図 3-5-12 連続扇状地を模擬した 2 次元浸透流解析

(4) 湧水ポテンシャルとハリヨ生息状況の対応関係

ハリヨが目視により容易に確認できたエリア(下流 1 地点省略)を図 3-5-8 のマップ上に重ねて示す。結果的に湧水ポテンシャルが高いと評価した区間周辺の湧水池でハリヨを見ることができた(本川では確認できない)。しかしその個体数は、中流湧水群周辺を除いて極めて少ないとみられる。上下流の生息場を見るといづれも小規模の湧水池で、更に周辺の生息地とは距離があり、孤立化・分断化した状態にある。また渇水時は湧水量が乏しく、水溜り状態(気温や日射の影響が顕著になる)、或いは干上がる場合もあり、生息場としては脆弱性が高いといえる。

(5) 湧水ポテンシャルと生息場創出の実例

これまでのデータからも中流湧水群周辺の湧水ポテンシャルは高く、またそのポテンシャルが高い割合でハリヨの生息場に供されていることが水収支から確認された。

生息場創出の実例として、中流湧水群周辺も過去の開発により湧水池や本川の水際が埋め立てられてきたが、1994年に供用開始した下水処理場建設に伴う開発では、代替措置として庭園風の池が人工的に整備された(現・北部浄水公園)。しかし陸地を切り下げたことにより地下水が自然湧出する湧水池となり、現在はハリヨが定着し清水池に次ぐ主要な生息場として保全が進められている(図 3-5-13)。これは湧水ポテンシャルが高い地点に、ハリヨの生息に適した場(池や水路)を整えることで、生息場を創出可能であることが実証された事例といえる。



図 3-5-13 中流での生息場創出(北部浄水公園)

(6) 生息場回復・創出の優先検討箇所

3.5.4 までのデータからも津屋川本川は水質(特に水温)条件が安定的ではなく、定常的なハリヨの生息は確認されていない。よって本川を生息場として回復させることは最終目標としつつも、湧水ポテンシャル分布を評価した2つの側面から優先検討箇所について考察した。

a) 本川縦断での水質・流量変動でみた場合

3.5.5(1)で示したポテンシャルの高い区間の本川際においては、地下水位のモニタリング等を実施した上で、北部浄水公園同様に湧水が安定供給される高さに切り下げた池や水路を整備することにより、生息場が回復・創出できる可能性が高い。逆にポテンシャルが低い区間では、このような生息場の創出は実施せず、ハリヨの移動経路として、上流からの本川水質の保存(水温の維持)に貢献するよう、流れ幅を狭めて滞留時間を減らすなど、日射や気温の影響を避ける対策が考えられる。

b) 沢筋(支川)ごとの水収支でみた場合

3.5.5(2)で示した沢筋(支川)ごとの水収支から、最上流の滝谷流域に関しては、地下水(伏流水)の大部分が本川際で湧水として復帰せず、本川を潜って流域外へとリークしていることが明らかとなった。現地状況を見ると、本川の流量は非常に少ないものの、周辺には多数の自噴井が見られ、これらは豊富な被圧地下水の存在を裏付けるものである。しかし井戸の多くは標高の低い低平地側(流域外)に集中しているとみられ、本川流量には貢献していない。これらのことから本川の河床高の切り下げや、水路の切り回しといった対策により、本川への湧水流入量を増加させることで、本川全体の水質が改善する可能性が高いが、大掛かりな土木工事を要する。まずは現況の河床高の測量や、周辺地下水位のモニタリング等により慎重に検討する必要があると考えられる。

(7) 調査の成果とまとめ

高密度での水文・水質データの取得により、複合扇状地帯という地形特性が、地下水(伏流水)の湧きやすさ、湧きにくさに関係し、こうした湧水を集めながら流れる津屋川において、結果として河道縦断での流量増減(湧水ポテンシャル分布)をもたらしていることが明らかとなった。更には湧水の起源である沢筋と本川の流量の関係を水収支として評価したことにより、一部の谷(扇状地)で流域外への地下水リークが明らかとなるなど、隠れた湧水ポテンシャル分布についても合わせて評価できた。

今回こうした顕在的、潜在的湧水ポテンシャル分布の両方を評価し、ハリヨの生息場回復の優先検討箇所を導き出すことができたことが調査の成果である。

更には現地において個々の生息地の整備についての具体的検討が期待されるが、最終的には本川の水質改善(特に水温環境)により湧水池間のハリヨの移動経路を担保することが、遺伝的多様性の観点からも特に重要である。

3.5.6 河道縦断における湧水ポテンシャル分布の評価手法

津屋川における湧水ポテンシャル分布の評価と、ハリヨ生息場回復・創出の優先検討箇所の絞り込みから得られた一連の調査・評価スキームを、湧水河川における保全生態を支える河川技術として整理し提案する。

(1) 本手法を適用する条件

湧水を主体とする河川、特に非明示的な湧水を主体とする山際や扇状地帯を流れる中小河川において、生息場保全を検討するケースを対象とする。なお河道によっては河川水から地下水へのリーク(水交換)が疑われる現場もある。津屋川においても左岸(濃尾平野)側へのリークの可能性が考えられたが、中流付近での調査から、河床部に泥が厚く堆積していること、堤防漏水がほとんど見られないこと、河床部における差圧マノメータを用いた調査から無視できるレベルと判断した。伏流等が著しい河川の取り扱いについては、4.6.5(1)において示す。

(2) 本手法適用の実際

a) 水質観測による質的な分布特性の把握

- ① 観測地点の配置：現場河川の状況が未知の場合、対象区間の前後を含め、全体に均等配置させる。中間地点は例えば橋ごとに設定することで高解像度化ができる(測定地点数は増えるが、EC の測定は容易であることが貢献する)。また支川合流があれば支川の下流末端に、その他横流入する明示的かつ量的に大きなソース(湧水、排水等)についても、EC をはじめ補助項目として水温、pH 等測定が容易な項目について捉える。
- ② 観測地点の調整：湧水の流入が見込まれる水質急変区間には観測地点を適宜追加する。これにより高解像度での水質特性が把握できる。
- ③ 湧水流入区間の仮評価：②の結果から湧水流入が集中する区間の候補を判断し、これに応じて現地状況と照らし合わせる。

b) 流量観測による量的な分布の把握

- ① 観測地点の配置(水質観測の結果を受けて実施する場合)：a)③を参考に、例えば水質が急変する区間の前後に流量観測点を配置する。
- ② 観測地点配置(水質観測の調査と平行して実施する場合)：一日の調査時間内で実施可能な地点数を考慮した上で全体に均等配置する。
- ③ 観測地点の調整：b)①、②いずれも当該区間での流量の変化量は大きい、距離が長く集中区間が鮮明でない場合、中間地点を追加する。
- ④ 流量データの調整：湧水の増加量をみるために、支川流入量や取水量を除外した流量分布を求める。

c) 顕在的湧水ポテンシャル分布の評価

- ① 定性的評価：b)の結果から、流量の増加量が多い区間のうち、a)の評価でも支持される区間は、顕在的湧水ポテンシャルが高い区間と評価する。
- ② 定量的評価：3.5.5(1)の手法を基に横流入量の分布を計算し、湧水ポテンシャル分布として評価する。

d) 潜在的湧水ポテンシャル分布の評価

c)の評価に加え、河道流量として更に獲得できる可能性がどの程度あるのか、最終的に生息場保全に供すことのできる水資源量を評価する。河道区間ごとに背後流域が明確である場合、その流域からの流出量を求める。3.5.5(2)で示したように支川流域の流量を用いて推定する方法と、雨量データを用いた流出解析によ

る方法がある。これと実際の区間当たりの湧水流入量(顕在的湧水ポテンシャル)との差が、獲得できる可能性のある潜在的湧水ポテンシャルといえる。

(3) 観測実施の時間軸

湧水が通年で安定的であることへの影響をみるという観点から、観測時期を設定する。流量の観点では、平常時と渇水時の観測が望ましく、利用できる水位情報があれば参照しながら時期を決定する。また水温の観点では、夏期と冬期が捉えられれば良いが、並行して連続観測により日変動、季節変動等も捉えた方が良い。

(4) 本手法が適用・応用できるケース

水際や河道内湧水といった非明示的な湧水の存在を明らかにする手法として有効である。具体的には、火山の溶岩台地末端に生ずることの多い湧水群から成る山麓河川や、扇状地扇端に現れる湧水から成る中小河川の生息場を問題にするケースなどが挙げられる。

3.5.7 まとめと本手法の優位性

3.5.4 及び 3.5.5 での実河川における調査・評価を基にして、3.5.6 では非明示的湧水が支配する河川での湧水ポテンシャル分布の評価手法を構築・立案した。

このような湧水ポテンシャルを捉えるためには、通常直接的な流量の観測に走りがちであるが、全体像がわからない中、時間コストの高い流量観測だけでは効率的な調査は望めない。時間コストが低く、観測が容易な水質観測から得られた空間密度の高い質的情報と、そこから絞り込まれた地点での流量観測による量的情報の、それぞれの利点を組み合わせていることが本手法の特徴であり、より早く概況を捉え効率的に湧水ポテンシャル分布を捉えることができるという優位性が示された。

3.5.8 成果の公表とリアクション（議論と課題）

以上で得られた結果については、2020年1月現在、計7回の発表を実施した。詳細は3.5.10のリストに掲載した。

3.5.9 参考文献（3.4）

- 1) 南濃町:南濃町史通史編, 1982.
- 2) 養老町:養老町史通史編, 1978.
- 3) 岐阜県:木曽川水系津屋川圏域河川整備計画, 2001.
- 4) 森誠一:トゲウオのいる川 淡水の生態系を守る, 中公新書, 中央公論新社, 1997.
- 5) 南濃町:わき水の魚ハリヨの生活史, 1991.
- 6) 森誠一:木曽三川の自然環境および自然再生への取組, 河川 No. 850, 日本河川協会, 2017.
- 7) 海津市:津屋川水系清水池ハリヨ生息地保存管理計画(案), 2015.
- 8) 吉川慎平, 鷺見哲也:ハリヨ生息地としての木曽川水系津屋川流域の構造と湧水環境, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 2017.
- 9) 吉川慎平, 鷺見哲也:木曽川水系津屋川ハリヨ生息地の湧水環境と水質の季節変動, 第 51 回日本水環境学会年会講演集, 2017.
- 10) 吉川慎平, 鷺見哲也:木曽川水系津屋川のハリヨ生息地保全を目的とした湧水機構の推定, 土木学会第 72 回年次学術講演会講演概要集, 2017.
- 11) 吉川慎平, 鷺見哲也:ハリヨ生息環境を支える養老山麓津屋川湧水群を中心とした水環境の現状と課題, 応用生態工学会第 21 回研究発表会 (ELR2017), 2017.
- 12) 鷺見哲也, 吉川慎平, 不破宏紀, 宮崎敬大, 森田拓磨:岐阜県津屋川流域に関する基礎的水文調査, 平成 29 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 2018.
- 13) Bear, J: Dynamics of Fluids in Porous Media, Dover, pp.361-388, 1972.

3.5.10 関連発表・論文

(1) 関連発表

- [1]. 吉川慎平, 鷺見哲也:木曽川水系津屋川の本川及び中流湧水群の水質特性について, 土木学会水工学委員会水文部会 第 16 回地下環境水文学に関する研究集会, 2016.
- [2]. 吉川慎平, 鷺見哲也:ハリヨ生息地としての木曽川水系津屋川流域の構造と湧水環境, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会, 2017.
- [3]. 吉川慎平, 鷺見哲也:木曽川水系津屋川ハリヨ生息地の湧水環境と水質の季節変動, 第 51 回日本水環境学会年会, 2017.
- [4]. 吉川慎平, 鷺見哲也:木曽川水系津屋川のハリヨ生息地保全を目的とした湧水機構の推定, 土木学会第 72 回年次学術講演会, 2017.
- [5]. 吉川慎平, 鷺見哲也:ハリヨ生息環境を支える養老山麓津屋川湧水群を中心とした水環境の現状と課題, 応用生態工学会第 21 回研究発表会(ELR2017), 2017.
- [6]. 吉川慎平, 鷺見哲也:湧水環境依存種の生息場回復に向けた河道縦断における湧水ポテンシャル分布の評価手法, 土木学会水工学委員会河川部会 2018 年度河川技術に関するシンポジウム, 2018.
- [7]. 吉川慎平, 鷺見哲也:湧水環境依存種の生息場回復に向けた湧水ポテンシャル分布の評価, 応用生態工学会 第 22 回研究発表会, 2018.
- [8]. 鷺見哲也, 吉川慎平:ハリヨのすみか 養老山麓の湧き水はどこで・どれだけ・どんな水が湧いている? (大同大学 鷺見研究室), トゲウオシンポジウム in おおがき, 2018.

(2) 関連論文

- [1]. 吉川慎平, 鷺見哲也:ハリヨ生息地としての木曽川水系津屋川流域の構造と湧水環境, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 2017.
- [2]. 吉川慎平, 鷺見哲也:木曽川水系津屋川ハリヨ生息地の湧水環境と水質の季節変動, 第 51 回日本水環境学会年会講演集, 2017.
- [3]. 吉川慎平, 鷺見哲也:木曽川水系津屋川のハリヨ生息地保全を目的とした湧水機構の推定, 土木学会第 72 回年次学術講演会講演概要集, 2017.
- [4]. 吉川慎平, 鷺見哲也:ハリヨ生息環境を支える養老山麓津屋川湧水群を中心とした水環境の現状と課題, 応用生態工学会第 21 回研究発表会(ELR2017)講演集, 2017.
- [5]. 吉川慎平, 鷺見哲也:湧水環境依存種の生息場回復に向けた河道縦断における湧水ポテンシャル分布の評価手法, 土木学会水工学委員会河川部会 河川技術論文集 Vol. 24 pp.355~360, 2018.
- [6]. 吉川慎平, 鷺見哲也:湧水環境依存種の生息場回復に向けた湧水ポテンシャル分布の評価, 応用生態工学会 第 22 回研究発表会講演集, 2018.

3.6 フィールド 4: 利根川水系霞ヶ浦(西浦)と桜川流域(茨城県)

3.6.1 対象地の概要と検討課題

利根川水系桜川は、茨城県西南地域の桜川市、筑西市、つくば市、土浦市の 4 市に跨る指定延長 63.41km (流路延長約 55km)、流域面積 350.3km² の一級河川(県管理)である(図 3-6-1)。桜川市の鍬柄山(274m)に端を発し、筑波山地(主峰:筑波山 877m)西方の平野部を南流、土浦市中心市街地付近で霞ヶ浦の西浦(以下、霞ヶ浦)へと注いでいる。霞ヶ浦流入河川の中では最大規模(延長・面積)の河川である(図 3-6-2)¹⁾。

今日、流域の平野部は一大農業地域を形成しているが、これは古くからの河川水、地下水の灌漑利用に加え、下流の霞ヶ浦を水源(ダム)とする「霞ヶ浦用水(1994 年完成)」の管路網整備による、安定的な大規模灌漑機能に支えられている²⁾。一方で地域からの排水機能は、流域の河川が担っており、流出した水と物質は河川

を介して霞ヶ浦へと還流する。その水質は良好とはいえないのが現状であり、霞ヶ浦の汚濁負荷要因の一つとされている³⁾。更に還流した水と物質の一部は再び霞ヶ浦から揚水されるという、複雑かつ高度な人工水文循環が、閉鎖的な水域内で繰り返されている点が最大の特徴である(図 3-6-4)。桜川に代表される霞ヶ浦圏域の河川流域は、流域下流に「ダム湖」を持つという全国的にみても特異な水循環機構を有していると言える³⁾。



筑波山と田園地帯



中・下流部(田土部)



河口(土浦市街)

図 3-6-1 桜川の景観



図 3-6-2 霞ヶ浦圏域の位置と桜川

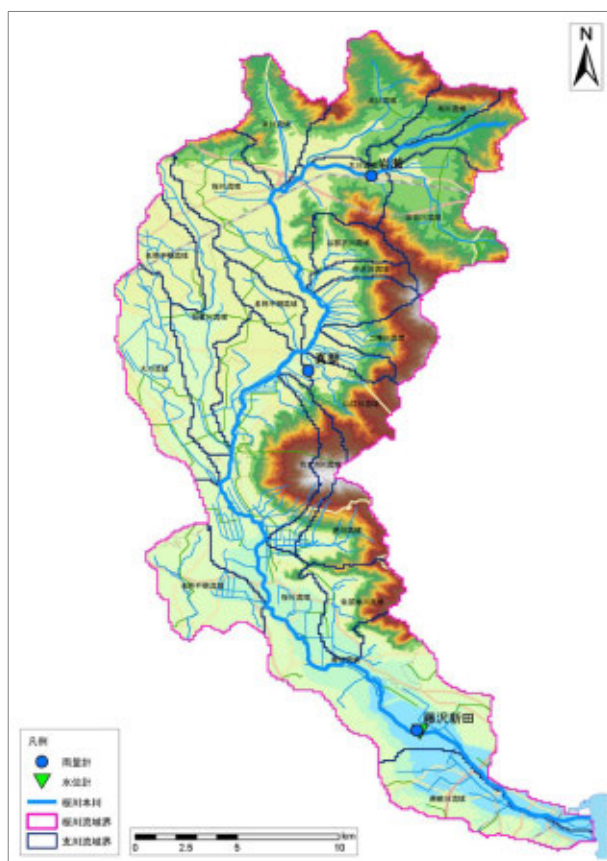


図 3-6-3 桜川流域と主要水文観測所

地図データ出典: 国土数値情報, 主要水系調査

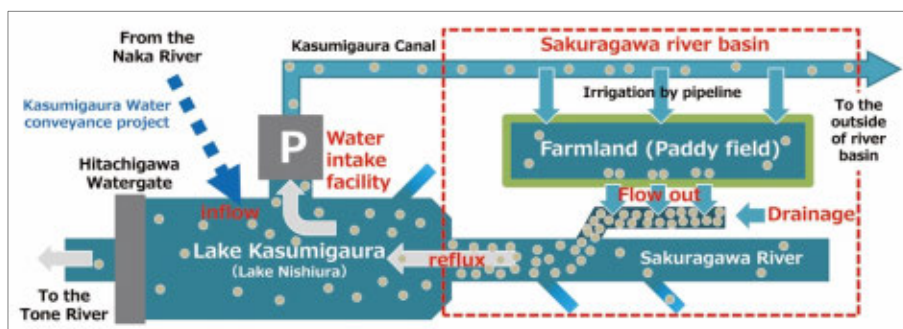


図 3-6-4 桜川流域を取り巻く人工水循環のイメージ

3.6.2 調査（研究）目的

以上の背景から排水機能を担う桜川水系の河川水は、質・量の両面において農地（農業）由来の影響を強く受けている事が予想される。しかし流域の水文・水質に関する広域的・定期的なデータが不足している点、本研究の先行研究⁴⁾で提起された、本川下流桜橋付近（地先レベル）での水質改善、という課題検討の点から、本川及び流域全体の水質実態について、現地調査によりその傾向を捉えることとした。

3.6.3 調査（研究）方法

現地調査における水質項目として、河川水（地表水）の起源を評価したい点、測定が容易（多地点調査が可能）な点、日変動性が低い点から、電気伝導率（以下、EC）を主な指標とすることとした。なお茨城県の公共用水域調査の水質項目に EC は無く、流域の EC のデータは特に不足している。

調査地点は、本川を軸に流入する一次・二次支川と用排水路の上下流、その他の水域（溜池等）を対象に、現地状況を勘案して 110 地点設定した。調査項目は東亜ディーケーケー社製のポータブル EC/pH 計 WM-32EP を用いて、水温、EC、NaCl、pH、ORP（別途、気温）を測定、一部で透視度、パックテストにより COD、NO₂⁻-N、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、PO₄³⁻-P を測定した。代表地点ではイオン分析のためのサンプリングを実施し、コンパクトイオン分析計（HORIBA、LAQUA twin シリーズ）を用いて Ca²⁺、Na⁺、K⁺、NO₃⁻ を簡易測定した後、本分析のため 0.45 μm のシリンジフィルターにより濾過しストックした。

流量は現地の状況（水深があることや水際へのアクセスの悪さ）等、調査の効率性の点から今回は対象としない。また河川管理者の茨城県に水位観測所地点の水位流量曲線（H-Q 曲線）の提供を依頼したが、流量での管理を行っていない（作成していない）ため提供できない旨の回答を得た（2016 年時点）。

現地調査は、2017 年 8 月 13 日～14 日（夏期・農繁期・12 時間通水^{**}）⁵⁾、12 月 18 日～19 日（冬期・農閑期）、2018 年 5 月 4 日～5 日（春期・農繁期・24 時間通水期）⁵⁾の 3 回、それぞれ連続 2 日間に渡り実施した。また、本川に限定した調査を、2016 年 8 月 15 日、2018 年 2 月 10 日、4 月 4 日の 3 回実施した（表 3-6-1）。図 3-6-5 に現地調査時期と本川水位（下流 8.8K・藤沢新田地点）、流域平均雨量（上流・岩瀬、中流・真壁、下流・藤沢新田 3 地点を平均）の関係を示す。

^{**}霞ヶ浦用水の水田通水の期間は 4/21～8/31。4/21～5/10 は 24 時間通水、5/11～8/31 は 12 時間（日中のみ）通水⁵⁾。

表 3-6-1 各調査回の位置付けと諸条件

調査回	2016年 8月	2017年 8月	2017年12 月	2018年 2月	2018年 4月	2018年 5月	2018年 7月
対象	本川のみ ①	流域全体 ①	流域全体 ②	本川のみ ②	本川のみ ③	流域全体 ③	本川のみ ④
季節	夏季	夏季	冬季	冬季	春季	春季	夏季
流況	渇水	豊水	低水	低水	平水	豊水	高水
藤沢新田 水位 ¹	2.0m +YP	2.3m +YP	2.1m +YP	2.1m +YP	2.1m +YP	欠測	欠測
藤沢新田 EC ²	29.6 mS/m	22.8 mS/m	23.9 mS/m	23.8 mS/m	23.1 mS/m	28.0 mS/m	15.3 mS/m
霞ヶ浦湖心 水位 ³	1.0m +YP	1.1m +YP	1.2m +YP	1.3m +YP	1.0m +YP	1.1m +YP	1.1m +YP
霞ヶ浦湖心 EC ⁴	35.6 mS/m	34.3 mS/m	23.5 mS/m	23.0 mS/m	28.1 mS/m	21.8 mS/m	32.3 mS/m
備考	・ 少雨, 渇水傾向	・ 小規模 出水時, 低減中			・ 農繁期前	・ 農繁期 (24時 間通水)	・ 出水低減 中

藤沢新田水位, 湖心水位・EC データ出典: 水文水質データベース(国土交通省)

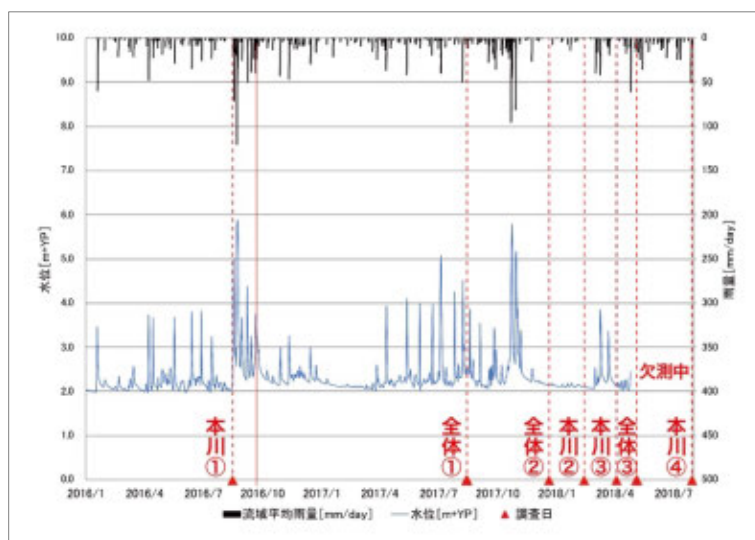


図 3-6-5 本川水位・流域平均雨量と各調査日の関係

水位: 藤沢新田, 雨量: 岩瀬・真壁・藤沢新田

データ出典: 水文水質データベース(国土交通省)

3.6.4 調査結果と考察

(1) 流域全体の EC の空間分布と傾向

本稿では EC の結果について扱う。調査地点の空間分布と EC の測定結果を図 3-6-6 に、EC の値の分布を図 3-6-7 に示す。全体の傾向として、西側の平野部の水域(本川を含む)と、東側の筑波山地山麓部及び本川源流部の水域で明確な差異が認められた。

全データを平野と山麓の 2 グループに分け(測定地点の周辺地形から判断)、それぞれ中央値をみると、平野部は、夏期 22.3mS/m、冬期 24.3mS/m、春期 21.4mS/m であるのに対し、山麓・源流部は、夏期 11.63mS/m、冬期 11.14mS/m、春期 12.9mS/m と、平野と山麓で 10mS/m 程の開きがあることがわかった。

山麓部は変動幅が平野に比べて小さく、安定的である。流水についても、豊富とはいえない(流域面積的に妥当)が、春・夏・冬期を通して見られた。これらの起源は、山地湧水が高い割合を占めていると考えられる。

一方、平野部は変動幅が大きく特に山付きでない本川右岸側の支川(観音川、大川流域等)の EC が相対的に高い傾向にある。流水については春・夏期は見られたが冬期は非常に少なく、またこの時の EC は春・夏期と比較して更に高いことから、流水・水質共に季節変動性が大きいこともわかった。平野部の支川は、山麓部と異なり流水を安定的に供給する湧水等の水源が乏しい、あるいはほとんど無い地域であり、春・夏期に見られた流水の起源は、農地等からの排水等が高い割合を占めていたと考えられる。

更に全データ(3 回分)の最小値は 6.3 mS/m(春期)、最大値は 88.3 mS/m(冬期)と大きな開きがある。最小値は山麓部の源流の値であり、これは風化花崗岩地帯の山地湧水と位置付けられ、同じ花崗岩地帯(矢作川流域)での EC の測定結果⁷⁾に照らしても妥当な結果といえる。一方最大値は平野部の水田地帯中の幹線排水路の値であり、土壌等から溶出した無機イオン類が冬期で流水のほとんど無くなった水路内で濃縮したと推測される(当該地点は毎回高い傾向にある)。

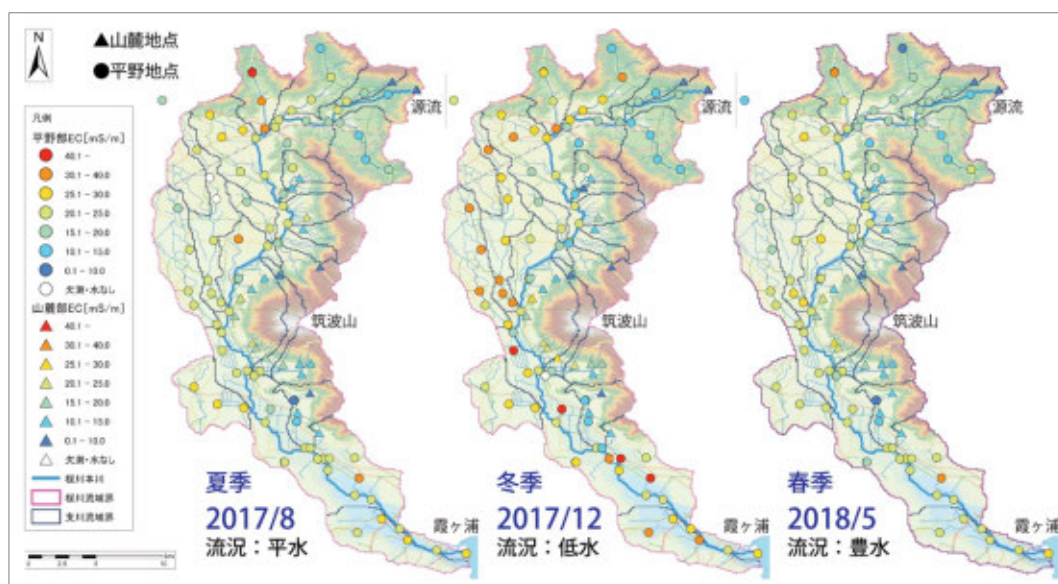


図 3-6-6 調査地点の空間分布と EC (○が平野, △が山麓地点)

GIS データ出典: 国土数値情報, 主要水系調査, 他

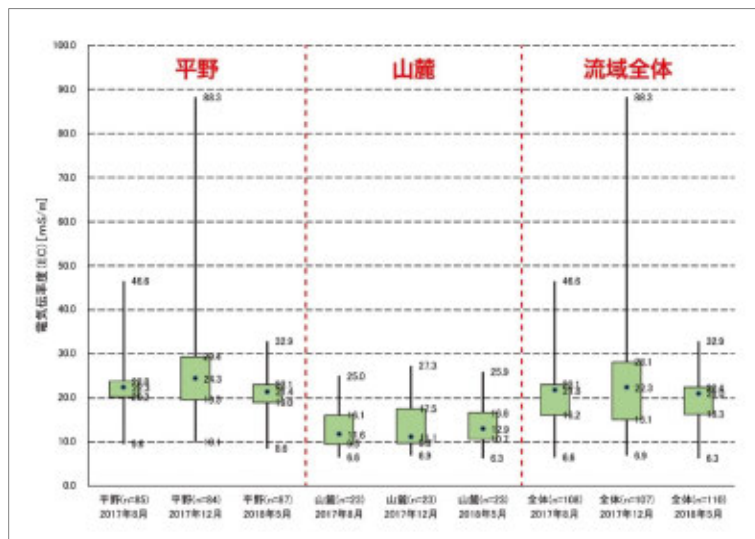


図 3-6-7 桜川流域の EC の値の分布

(2) 本川縦断における EC の変化

本川縦断における EC の変化を図 3-6-8 に示す。図中には本川の左右岸から流入する一次支川・排水路等の最下流地点の EC をプロットした。本川の EC は源流部の直下流から急上昇するが、45.0km より下流の区間に入ると河口付近まではほぼ平行である。またその変動は全体が上下にスライドする形になっている。中流部にみられる本川よりも低い値の流入水は、筑波山地山麓側(左岸)からのものであり、本川の EC に対して希釈効果をもたらしていると考えられる。

なお、同じ夏期(8月中旬)であっても、2016 年と 2017 年で傾向が大きく異なっている。直前の降雨と当日の水位を参照すると諸条件が異なっており、2016 年は、調査直前の降雨が少なく、水位約 0.98m と渇水傾向。2017 年は調査直前にまとまった雨が降り、水位は約 1.35m と豊水傾向にあり、これらが水質に影響したと考えられる。2017 年は雨水流入によって、河川水全体の希釈が働き、2016 年より低い結果になったと推測される。

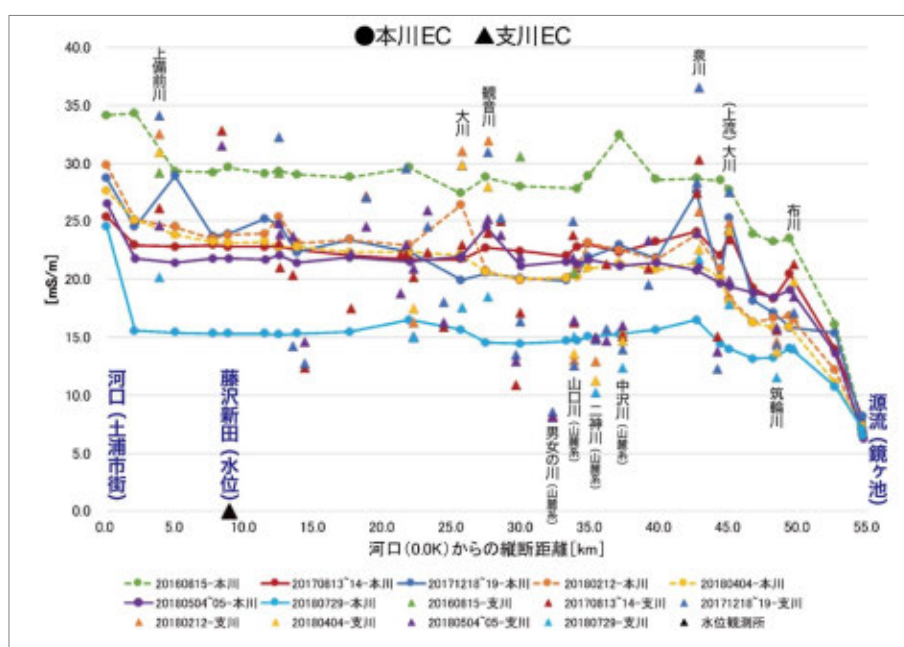


図 3-6-8 桜川本川縦断における EC の変化と流入支川の EC

* 縦断距離は茨城県資料¹⁾からの引用又は Google Earth を用いて測定。

3.6.5 まとめと今後の課題

現地調査から桜川本川と流域全体の EC の傾向を捉えることができた。今後 EC と水文データ、時期(灌漑・非灌漑期)の 3 つから、桜川においてその時どのような起源の水が支配的であるかを推定し得る可能性が示唆された。

今後の課題として、①水質と地質、土地利用、用水配水エリアとの関係等、水質形成要因の検討、②多雨期、台風等による出水中等、異なる状況・流況時の調査から、水質の季節変動性の検討、③河川水サンプルのイオン分析結果の精査等が挙げられる。今後のテーマとして、以下が挙げられる。

(1) 霞ヶ浦流域圏を含む茨城県内における EC データの蓄積

6 章に示すとおり、茨城県は公共用水域において EC を測定対象にしていないのが現状である。過去のデータも極めて乏しく、今回のような EC を指標とした調査を実施する場合、空間的・時間的参考データが不足している点で極めて不利な状況にある。一方水資源機構及び国土交通省の水質自動観測所データには EC が存在することから、これらの機関による EC 測定の継続と、県によるデータの取得を期待したい。これらについては 5・6 章でも詳しく示す。

特に霞ヶ浦流域圏については、今後霞ヶ浦導水事業の完成により、水質をはじめとした変化が予測される。

その際も霞ヶ浦より低値傾向にある那珂川の水の流入による変化(混合状況)を EC により検知できると考えられる。水資源機構、国土交通省によるデータをはじめ、今回のデータも比較対象の一つになることが考えられる。

また県内のその他地域については EC のトレンドが分かっていない状況にあり、任意地点調査並びに調査報告等の収集による補完が考えられるが、いずれも今後の課題である。

(2) 地下水の水質的特徴

桜川流域における環境水のうち、地下水の水質的特徴については今回ほとんど情報が捉えられなかった(一部の井戸のみ)。平野部においては、明確な湧水も確認できなかったため、井戸等を利用した調査が考えられる。なお筑波山並びに筑波山麓の地下水については、霞ヶ浦用水の筑波トンネルの関係など複数の資料^{8),9)}があり、EC、無機イオン類が低値であることが分かっている。この筑波山系の地下水とそれ以外の地下水では、地表水の傾向からも EC(水質)差が顕著なものと想像されるが、いずれも今後の課題である。

3.6.6 成果の公表とリアクション(議論と課題)

以上で得られた結果については、2020 年 1 月現在、計 7 回の発表を実施した。詳細は 3.6.8 のリストに掲載した。

3.6.7 参考文献(3.5)

- 1) 茨城県:利根川水系霞ヶ浦圏域河川整備計画, ワンダフル桜川, 他。
- 2) (独)水資源機構:霞ヶ浦用水ガイド-人とくらしにやさしい水, 2009。
- 3) 田渕俊雄:湖の水質保全を考える-霞ヶ浦からの発信-, 技報堂出版, 2005。
- 4) 熊田千春:自然と人のかかわり-利根川水系桜川について-, 2016 年度自由学園最高学部卒業研究, 2017。
- 5) 霞ヶ浦用水土地改良区:霞ヶ浦用水事業の水田通水について, <http://www.kasumi-lid.or.jp/koho/index.html>, 2018.5.9 参照。
- 6) 国土交通省:水文水質データベース, <http://www1.river.go.jp>, 2019/9 参照。
- 7) 吉川慎平, 鷺見哲也:電気伝導率からみた矢作川本川の水質実態と流域構造の特徴, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 2018。
- 8) 金井豊, 坂巻幸雄, 笹田政克:筑波トンネル掘削に伴う湧水中のウラン, $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ 放射能比および水質について, RADIOISOTOPES Vol.42 No.3, pp.143-150, 1993。
- 9) 水尻正博・藪崎志穂・田瀬則雄・辻村真貴:茨城県つくば市における湧水の特徴, 筑波大学陸域環境研究センター報告 No.7, pp.15-29, 2006。

3.6.8 関連発表・論文

(1) 関連発表

- [1]. 吉川慎平, 大塚ちか子, 夏井正明, 神明久, 熊田千春, 鷺見哲也:霞ヶ浦流入河川・桜川流域における水循環機構の特徴と電気伝導率からみた水質実態, 平成 29 年度土木学会関東支部技術研究発表会, 2018。
- [2]. 吉川慎平, 大塚ちか子, 夏井正明, 神明久, 熊田千春, 鷺見哲也:高度化した水循環機構下にある霞ヶ浦流入河川・桜川流域の水質特性の可視化を目的とした多地点電気伝導度観測, 第 52 回日本水環境学会年会, 2018。
- [3]. Shinpei Yoshikawa, Chikako Ohtsuka, Masaaki Natsui, Chiharu Kumada, Akihisa Jin, Tetsuya Sumi : Water environment in the Sakuragawa river basin under the advanced water circulation mechanism of Lake Kasumigaura Visualization of actual water quality by multipoint electric conduction observation, The 17th World Lake Conference, 2018。
- [4]. Chiharu Kumada, Shinpei Yoshikawa, Chikako Ohtsuka, Masaaki Natsui, Akihisa Jin : Current status and issues of water environment of Sakuragawa River aim for water quality improvement, The 17th World Lake

Conference, 2018.

- [5]. 吉川慎平, 大塚ちか子, 夏井正明, 熊田千春, 神明久, 鷺見哲也:高度化した水循環機構下にある霞ヶ浦流入河川・桜川流域の水環境—多地点電気伝導率観測による水質実態の可視化—, 茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター公開シンポジウム 霞ヶ浦流域研究 2019.
- [6]. 熊田千春, 吉川慎平, 大塚ちか子, 夏井正明, 神明久:利根川水系桜川の水質改善に向けた水環境の現状と課題, 茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター公開シンポジウム 霞ヶ浦流域研究 2019.
- [7]. 吉川慎平, 大塚ちか子, 夏井正明, 熊田千春, 神明久, 鷺見哲也:高度化した水循環機構下にある霞ヶ浦流入河川・桜川流域の水環境—多地点電気伝導率観測による水質実態の可視化—, 第 17 回世界湖沼会議一周年記念企画展, 2019.

(2) 関連論文

- [1]. 吉川慎平, 大塚ちか子, 夏井正明, 神明久, 熊田千春, 鷺見哲也:霞ヶ浦流入河川・桜川流域における水循環機構の特徴と電気伝導率からみた水質実態, 平成 29 年度土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, 2018.
- [2]. 吉川慎平, 大塚ちか子, 夏井正明, 神明久, 熊田千春, 鷺見哲也:高度化した水循環機構下にある霞ヶ浦流入河川・桜川流域の水質特性の可視化を目的とした多地点電気伝導度観測, 第 52 回日本水環境学会年会講演集, 2018.
- [3]. Shinpei Yoshikawa, Chikako Ohtsuka, Masaaki Natsui, Chiharu Kumada, Akihisa Jin, Tetsuya Sumi : Water environment in the Sakuragawa river basin under the advanced water circulation mechanism of Lake Kasumigaura Visualization of actual water quality by multipoint electric conduction observation, The 17th World Lake Conference Abstract book, 2018.
- [4]. Chiharu Kumada, Shinpei Yoshikawa, Chikako Ohtsuka, Masaaki Natsui, Akihisa Jin : Current status and issues of water environment of Sakuragawa River aim for water quality improvement, The 17th World Lake Conference Abstract book, 2018.
- [5]. Shinpei Yoshikawa: Outline of the Water Circulation Mechanism of the Sakuragawa River Basin Flowing into the Lake Kasumigaura, Bulletin of Jiyu Gakuen College of Liberal Arts Vol.4 pp.103-104, 2019.

3.7 フィールド 5: 矢作川流域全体 (愛知県・岐阜県・長野県)

3.7.1 対象地の概要と検討課題

(1) 矢作川流域の概要

矢作川は, 大川入山に端を発し^{††}, 愛知県西部(三河地方)を貫流して三河湾へと注ぐ, 幹線流路延長 118km, 流域面積 1,830km², 長野・岐阜・愛知の 3 県に跨る一級河川である¹⁾. 主な支流として乙川, 巴川がある(図 3-7-1).

^{††}矢作川の源流は, 美濃三河高原の茶臼山との見解も存在するが, 本稿では河川整備計画¹⁾の定義に沿って, 上村川を本川として扱う.



図 3-7-1 矢作川流域図と地質

ピンク系:花崗岩類, グリーン系:変成岩類, イエロー系:非海成堆積岩類

背景データ出典:国土数値情報(河川, 湖沼, 流域メッシュデータ), 日本シームレス地質図

(2) 河川水の電気伝導率

矢作川の水質面の特徴の一つとして、河川水(本川)の電気伝導率(以下、EC)の低さが報告されている。内田らの文献²⁾によると矢作川中流の EC は 5.0~8.0mS/m の範囲にあり、日本の平均的な河川水の EC 11.15mS/m(半谷・小倉, 1985)³⁾からみて低いとある。また著者による矢作川中流(豊田市御立町地先) 2 地点での 2016 年 2 月から 2017 年 1 月までの現地調査結果(3.3b に掲載)⁴⁾においても、EC の中央値(n=23)は 6.7mS/m と 7.0mS/m というように、先に示された範囲に収まる結果であることが確認された。

(3) 流域構造(地質・土地利用・水循環機構)の特徴

2 章で示したとおり EC の低さは一般に無機イオンの少なさを示している。河川水中の無機イオンは自然由来(降雨、流域の地質の影響等)と人工由来(流域の水循環機構、土地利用の影響等)があるが、矢作川の EC の低さの要因として次の流域構造の特徴が関係していると考えられる。

①流域の地質は、上流部の大半が花崗岩類で占められており、無機イオンの溶脱が少ないこと。②流域の水循環機構としては、下水処理水の河川への流入が少ないこと。中・下流域の市街地の下水は「矢作川流域下水道」の整備により、河口付近の浄化センターまで運ばれ、事実上三河湾に直接放流されているため、河川への栄養塩類の還元がほとんど無いこと⁵⁾。以上 2 点が主たる要因と想定されるが、その他、河道及び連続するダム・堰堤の湛水区間における藻類の一次生産による栄養塩の吸収による影響、また流域の土地利用(山林 76%, 水田・畑 19%, 市街地 3%, 水域 2%)¹⁾との関係も可能性として考えらえる。

3.7.2 調査(研究)目的

矢作川本川中流の EC の低さについては以上の要因が推定されるが、本川上・下流並びに流入する各支川の EC の実態は不明である。そこで本研究では広域での水質調査を季節毎に継続実施し、実態としての矢作川水系の河川水 EC を捉え、その傾向を分析することとした。

3.7.3 調査(研究)方法

現地調査は 2 班体制を基本とし、上・下流に担当を分け同日中に実施した(初回のみ 1 班体制で 2 日間に渡る)。

調査地点は継続性を重視し、採水が比較的容易な合計 68 地点を設定した(初回のみ 59 地点)。内訳は、本川が源流から河口まで 30、本川に直接流入する一次支川が 27、本川上流域の二次支川が 8、その他流入水が

1, 派川が1, 派川の支川が1である。支川の地点設定は流域下流末端を基本とした。対象とする支川は国土数値情報の流域メッシュデータで流域界が特定されている主要河川とした。

調査項目は東亜ディーケーケー社製のポータブル EC/pH 計 WM-22EP/32EP を用いて、水温、EC、NaCl、pH、ORP(別途、気温)を測定、陽・陰イオン分析のためのサンプリング、現地状況の撮影を実施した。サンプルは穴径 0.45 μ m のシリンジフィルターにより濾過しストックした。また有機汚濁の代表としてパックテストにより COD を測定した。

3.7.4 調査結果

(1) 調査時期と本川流況

現地調査は、本川流況(表 3-7-1)を見ながら随時実施を検討し、①2017 年 8 月 4～5 日、②8 月 20 日、③11 月 5 日、④2018 年 2 月 19 日、⑤5 月 25 日～28 日の 5 回実施した。①は夏期の渇水状態、②は小規模出水低減中の状態、③は中規模出水後の定常状態、④は冬期の渇水傾向、⑤は春期の平水～豊水という位置付けである。特に①は、岩津地点で正常流量の半分以下、渇水対策支部設置、取水制限実施中⁶⁾という、近年にない条件下のデータを取得することができた。

なお⑤の 5 月 25 日～28 日は、広域多地点調査として定点 68 地点にオプション 107 地点を加えた計 175 地点(3km メッシュに 1 地点)で実施した。

調査時期と岩津地点の水位、水質自動観測所のデータを重ねた結果が図 3-7-2 である。

表 3-7-1 各調査回の位置付けと諸条件

調査回		2017年8月 (その1,4～5日)	2017年8月 (その2,20日)	2017年11月	2018年2月	2018年5月
季節		夏季	夏季	秋季	冬季	春季
流況		渇水中	出水低減中	豊水	渇水傾向	平水～豊水
矢作ダム放流量 ^{*1}		11m ³ /s	91m ³ /s	20m ³ /s	14m ³ /s	43m ³ /s
高橋(中流)水位 (以況) ^{*2}		31.2m+TP (低水位相当)	32.2m+TP (豊水～高水位)	31.5m+TP (豊水位相当)	31.2m+TP (低水位相当)	31.4m+TP (平水～豊水位)
明治 用水 頭首工	流入量 ^{*3}	13～14m ³ /s	139～71m ³ /s	公開期間外	公開期間外	45～29m ³ /s
	放流量 ^{*3}	0～0m ³ /s	117～54m ³ /s	公開期間外	公開期間外	30～14m ³ /s
岩津 (下流)	水位 ^{*4}	15.4m+TP	16.4m+TP	15.9m+TP	15.6m+TP	15.7m+TP
	EC ^{*4}	8.9mS/m	4.9mS/m	7.0mS/m	7.4mS/m	6.7mS/m
形原(三河湾)潮位 ^{*5}		212cm	112cm	181cm	141cm	214cm
備考		・渇水対策本部設置中			・農閑期	・農繁期

データ出典: 水文水質データベース(国土交通省), 明治用水土地改良区 Web, 気象庁 Web

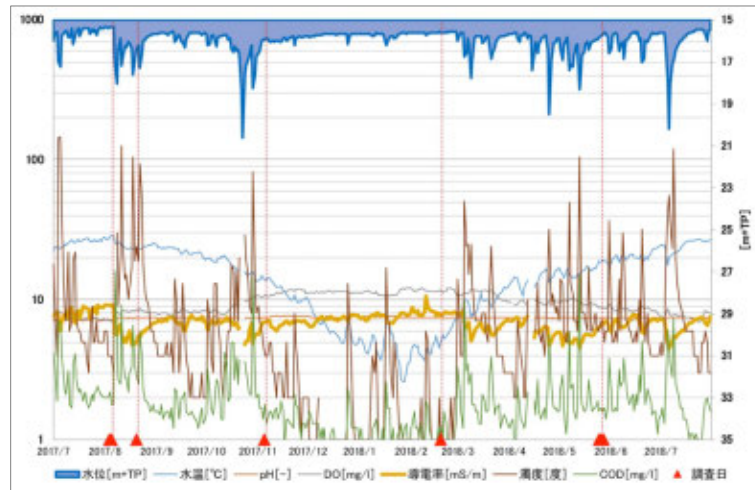
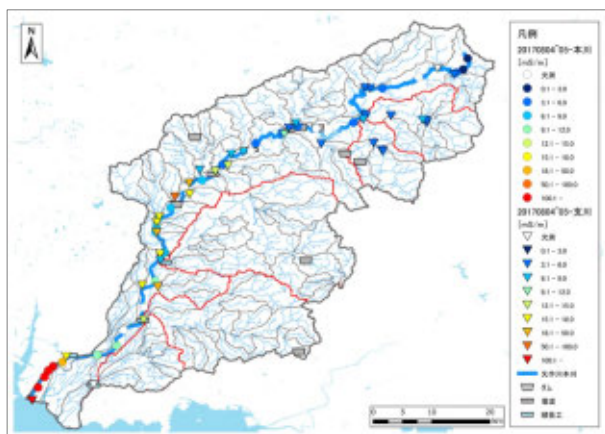


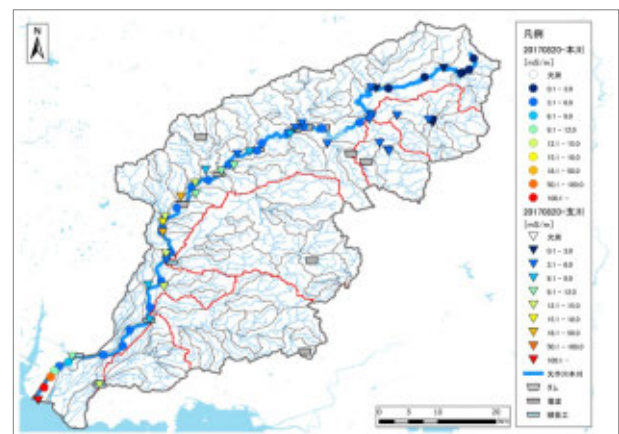
図 3-7-2 岩津地点 (29.2K) の水位, 水質自動観測所データと調査時期
2017/7/1~2018/7/31,水位(日最大)・水質(日平均),データ出典:水文水質データベース

(2) 調査結果の空間的可視化と本川縦断における変化

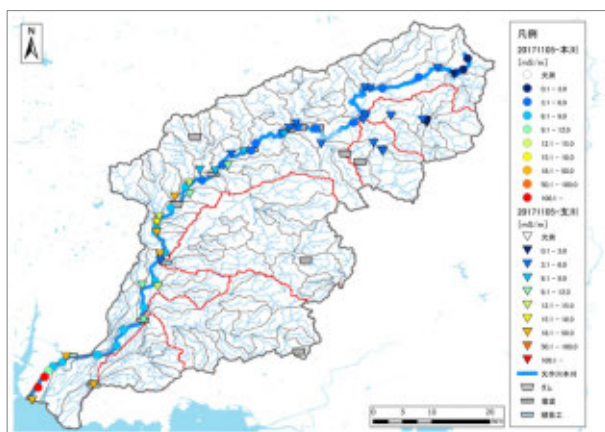
調査結果から EC について GIS を用いて流域図上にプロットした結果が 図 3-7-3, 3-7-4 である. また本川縦断距離を横軸として EC をプロットした結果が 図 3-7-5 である. 本川に横流入する一次支川と, その他流入水も同様にプロットした.



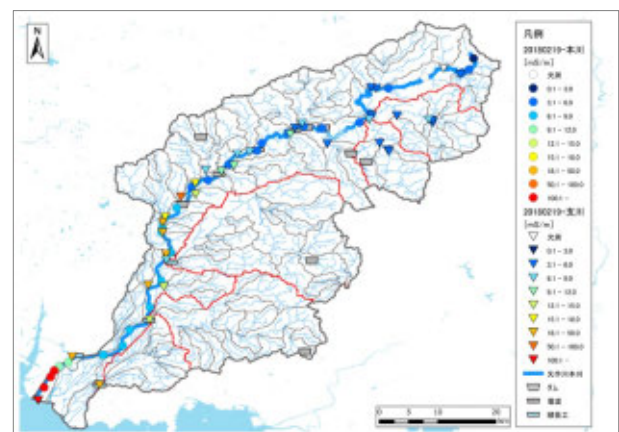
① 2017 年 8 月 4~5 日 (夏季・湯水)



② 2017 年 8 月 20 日 (出水低減中)



③ 2017 年 11 月 5 日 (秋季・豊水)



④ 2018 年 2 月 19 日 (冬季・湯水)

図 3-7-3 本川, 一次・二次支川における調査地点と EC の空間分布 (○は本川, △は支川のデータ)

背景データ出典: 国土数値情報 (河川, 湖沼, 流域メッシュデータ), 主要水系調査

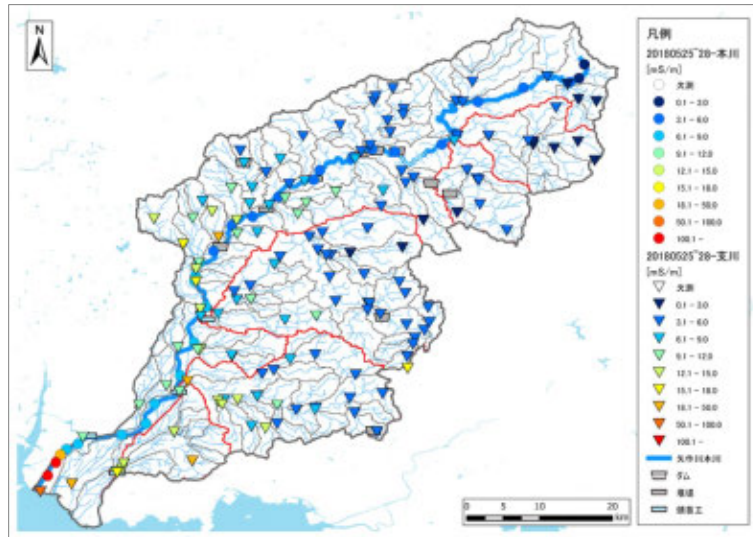


図 3-7-4 広域多地点調査における調査地点と EC の空間分布
(○は本川, ▽は支川のデータ)

背景データ出典: 国土数値情報 (河川, 湖沼, 流域メッシュデータ), 主要水系調査

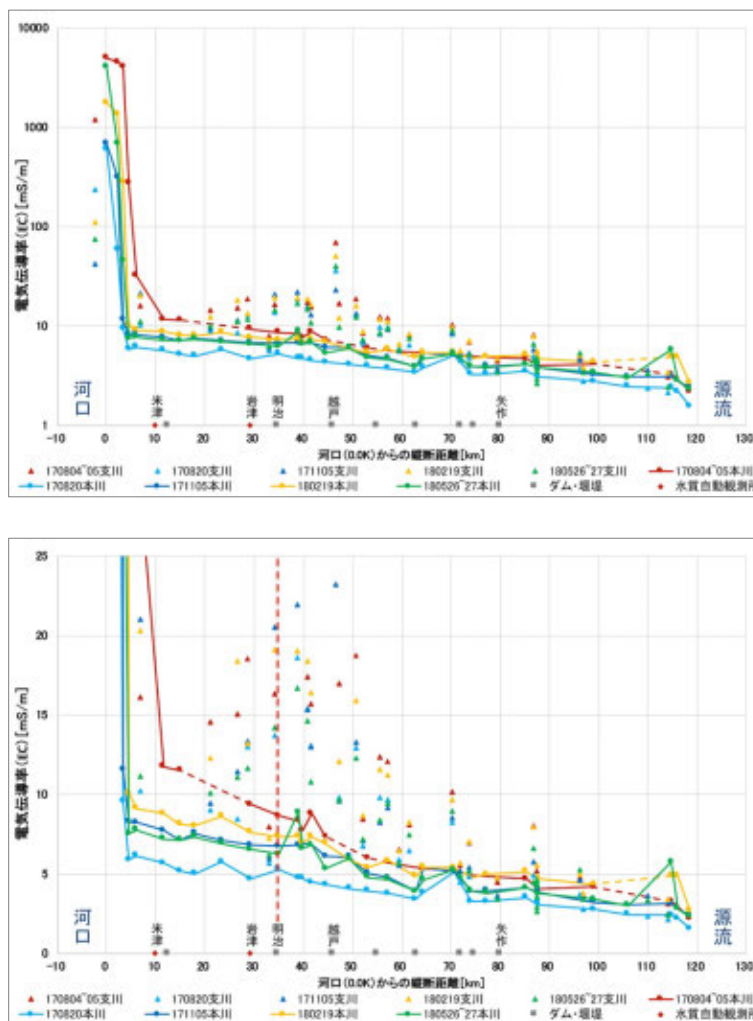


図 3-7-5 矢作川本川縦断における EC の変化 (上段: 対数表示, 下段: 低地部分拡大)

* 縦断距離について, 直轄区間は国土交通省資料, 上流は Google Earth を使用して測定。

(3) 調査結果からみえる傾向

以上から本川全体の傾向として次のことが明らかとなった。①本川流量のベースとなる上流域の河川は、ECが5.0mS/m以下(最低1.5mS/m)と一様に低い。②本川は中・下流でECの高い支川の流入により値が僅かに高くなる。特に渇水時の下流部で顕著(上流からの水は中流で取水され、下流では支川の水が支配的になる)。③中流の豊田市(40km)付近のECは上下流の中間的な値。④河口付近は感潮域のためECが急上昇するが、干満や本川流量の影響により値は大きく変動する。

3.7.5 本川水質に対する支川水質の影響の検討

(1) ECと流域面積を代用した支川インパクトの検討

3.7.4で示した空間的可視化並びに本川縦断における変化から、矢作川本川下流においては本川上流部で形成される低ECかつボリュームの大きい水塊が支配的であることが明らかになった。その裏付けとして、ECの実測値を基に、本川のある区間で流入する支川の濃度が、本川の濃度に対してどの程度インパクトを持つのかについて、2.5.4(8)で示した水収支・物質収支の式(2-1)、(2-2)を基本に検討した。なお式(2-1)、(2-2)では支川(横流入水)を一組としているが、ここでは複数の場合も扱う。

物質濃度を $[C]$ 、流量を $[Q]$ と表す時、物質収支式は式(3-3)と表される。但し式(3-4)の水収支式による。ここでは $[C]$ の代わりに物質の保存性を仮定しECの値を扱う。また調査地点の $[Q]$ は取得していないため(多地点での観測は現実的に不可能)、 $[流量比] \simeq [流域面積比]$ と仮定し、 $[Q]$ の代わりに流域面積 $[A]$ の値を扱い検討してみる。

本川の支川合流前地点 $[Cu]$ と、支川合流後地点 $[Cd]$ (完全混合が仮定できる程度の距離を置く)と、横流入(複数を仮定)する支川合流前地点 $[Ci]$ のECをそれぞれ実測する(図3-7-6)。本川の支川合流後地点 $[Cd]$ の値を未知として扱い、式(3-5)によりECの計算値を求める。求めた計算値と実測値を比較することで本川に対する支川のインパクトを考察する。詳しくは(3)で示す。

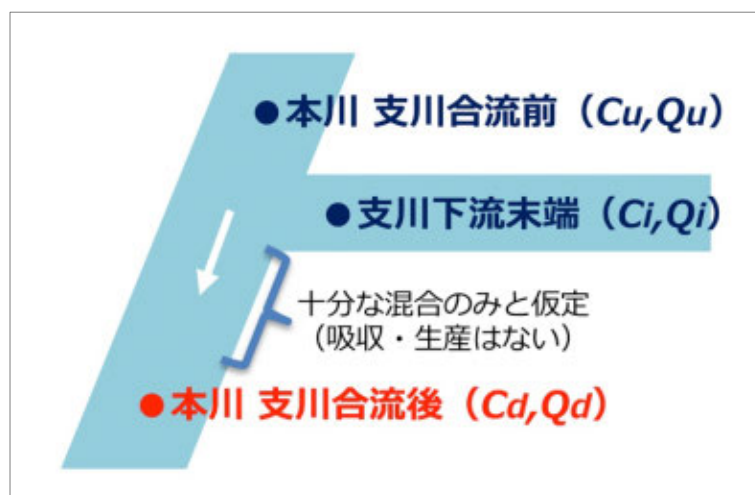


図 3-7-6 本川・支川合流のイメージと地点配置

$$C_d Q_d = C_u Q_u + (\sum_i C_i Q_i) \quad (3-3)$$

$$C_d = C_u \frac{Q_u}{Q_d} + \sum_i C_i \frac{Q_i}{Q_d}$$

※ 流量[Q]の代わりに流域面積[A]、但し以下の水収支式による

$$Q_d = Q_u + (\sum_i Q_i) \quad (3-4)$$

$$1 = \frac{Q_u}{Q_d} + \sum_i \frac{Q_i}{Q_d}$$

※ 流量[Q]の流域面積[A]に比例すると仮定

$$1 = \frac{A_u}{A_d} + \sum_i \frac{A_i}{A_d}$$

※ この条件の下、物質収支式は次式となる

$$C_d = C_u \frac{A_u}{A_d} + \sum_i C_i \frac{A_i}{A_d} \quad (3-5)$$

※ [C_d]は計算値 ⇔ 実測値(EC)と比較可能

(2) 矢作川の流域構造と本川のブロック分け

本川を主要支川の合流を加味して7ブロックに分割し(図 3-7-7)、本川の当該区間で横流入する支川インパクトについてそれぞれ検討した。



図 3-7-7 本川縦断におけるブロック分けと合流点における流域面積の割合と EC

(3) 本川における計算値と実測値の比較検討

支川合流後の EC の計算値と実測値の傾向は、平水・豊水時ではほぼ近似した(図 3-7-8 における 2017 年 11 月と 2018 年 5 月が該当)。よって矢作川の場合、支川の影響は流域面積比に近似した流量比でほとんど説明可能であることが分かった。これを利用し同様に計算した異なる流況時の結果をみると以下のようなになる(流況は表 3-7-1 参照)。

①低水・渇水時は平水・豊水時に比べて特に中流～下流部で EC が高い側に歪んだ。これは中流の明治用水頭首工における取水率が極めて高い割合となったことで、本川の水がほぼ全量取水され、直下流で合流するやや EC が高い中小支川の水のインパクトが支配的になったものと考えられる。事実上水の入れ替わり現象が起きているという事実が結果からも明らかになった。

②出水低減中は平水・豊水時に比べて EC が低い側に歪んだ。これは EC の低い降水の流入及び上流のダムからの放流による全体的な希釈効果が大きいと考えられる。

なお [流量比] ≒ [流域面積比] の仮定は、矢作川の場合定常状態では実測値と計算値が結果的に一致したため利用することができた。流域のほとんどが山地区間であり一様な自然流出を前提にできたためと考える。一致しない場合も、当該支川流域において貯留、取水、導水・バイパス等により人工的に歪められている可能性がある判断でき、各種流域構造が推定可能である。詳しくは 4.7 で示す。

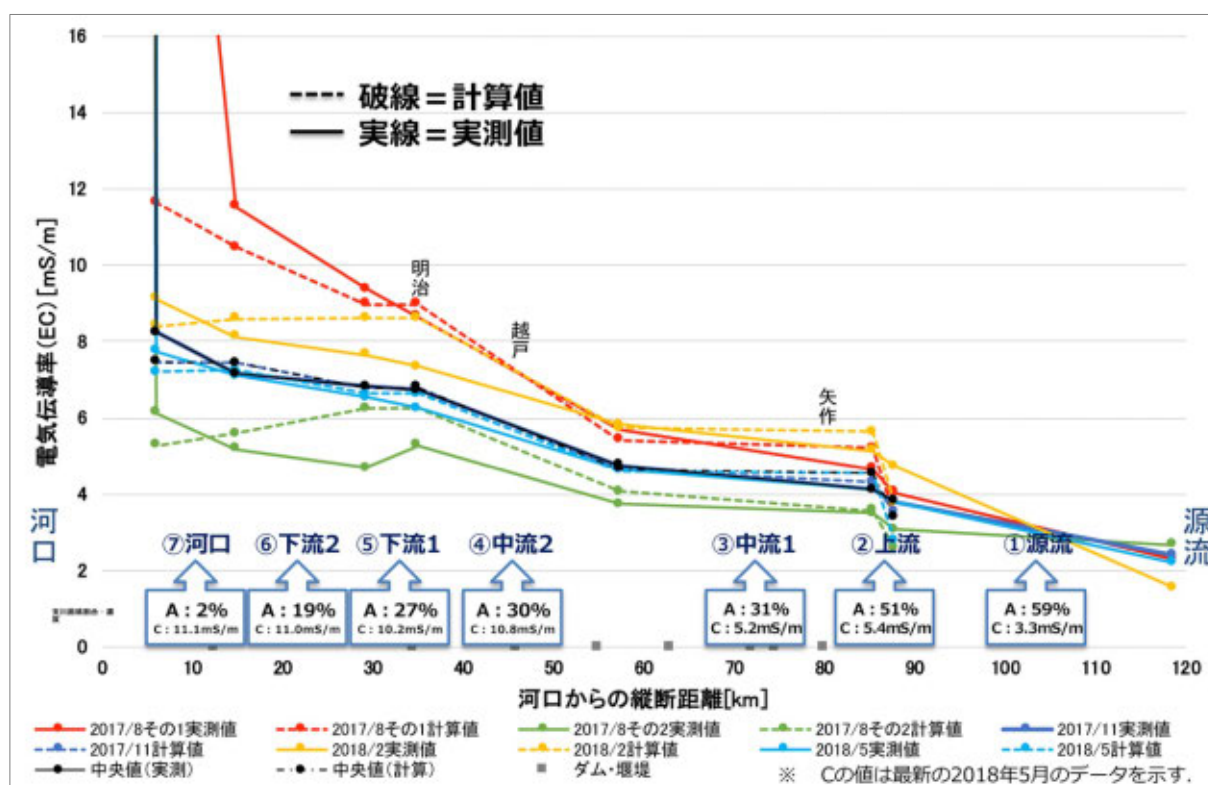


図 3-7-8 本川縦断におけるブロック(区間)ごとの電気伝導率の変化

(4) 本川の水質(EC)に対する支川インパクトの評価

以上の検討から、本川の水質に対する支川のインパクト(流量比)について評価すると、次のようになる。

①上流は支川との EC の差が無くインパクトがない(EC の点では同質といえる水), ②中流は支川の EC が相対的に高く・流量比が大きいいためインパクトがある, ③下流は支川の EC が相対的にやや高いが流量比が極めて小さくインパクトがない。

(5) 本検討から見える矢作川の水質形成の傾向

中・上流部(山地区間)は、支川・本川とも EC が低く、これらが本川の流水の量的・質的なベースを形成して

おり、中・下流で EC が高い(中小)支川が合流しても、そのインパクトは小さく抑えられている。つまり EC が低く流量の多い本川の水が支配的といえる(図 3-7-9)。

一方で渇水時など中流において本川からの取水割合が大きい場合(本川流量に対する取水割合が 95%を超えた実績もある⁷⁾、EC が低い本川ベース流量が減少し、その下流では EC が高い支川のインパクトが大きくなる。

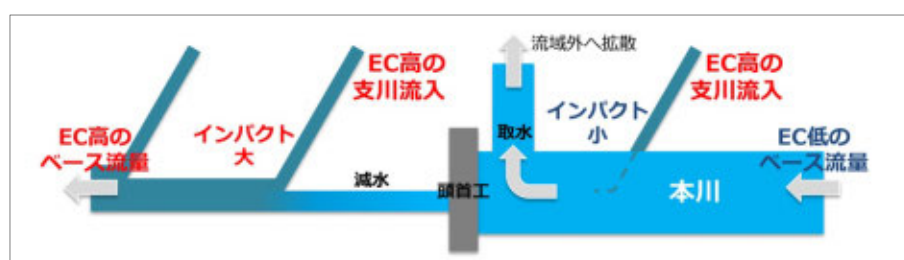


図 3-7-9 本川・支川流量比の違いによる EC の高低イメージ(渇水・取水割合が大の場合)

3.7.6 まとめと今後の課題

測定が容易かつ保存性が高い(日変動性が低い)EC を、広域・多地点かつ複数回調査することで、流水と物質の収支の観点から流域構造の全体像を捉えられた。矢作川においては支川ごとのインパクトの違いが明確であること、更には渇水時・出水時の収支の歪みを説明できた。

今後の課題として、①河川水の流出入(取水・排水)やダムでの貯留、バイパス(水路式発電所)等の人工系を反映させる方法の検討、②EC と流量の関係性の検証、③矢作川の EC の全国的な位置付け(他水系との比較)等が挙げられる。

3.7.7 成果の公表とリアクション

以上で得られた結果については 2020 年 1 月現在、計 4 回の発表を実施した。詳細は 3.7.8 のリストに掲載した。一連の結果は 2018 年 8 月に開催された矢作川流域圏懇談会の第 1 回合同部会において講演した。

3.7.8 参考文献 (3.5)

- 1) 国土交通省豊橋河川事務所:矢作川水系河川整備計画, 2009.
- 2) 内田朝子, 藤居勇, 山戸孝浩:矢作川における大型糸状緑藻の時空間変動, 矢作川研究 No.6 pp.113～124, 2002.
- 3) 半谷高久, 小倉紀雄:水質調査法, 丸善, 1995.
- 4) 吉川慎平, 鷺見哲也:矢作川・白浜工区周辺水域の水質と水生生物相調査結果について, 矢作川流域圏懇談会第 37 回川部会 WG 配布資料, 2016.
- 5) 愛知県, 愛知水と緑の公社:矢作川流域下水道, 2009.
- 6) 吉川慎平, 鷺見哲也:電気伝導率からみた矢作川本川の水質実態と流域構造の特徴, 平成 29 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 2018.
- 7) 吉川慎平:流域総合管理に資する河川・水文情報の高度化に関する研究 ～矢作川流域圏をモデルとして～, 大同大学大学院修士論文, 2017.

3.7.9 関連発表・論文

(1) 関連発表

- [1]. 吉川慎平, 鷺見哲也:矢作川・白浜工区周辺水域の水質と水生生物相調査結果について, 矢作川流域圏懇談会第 37 回川部会 WG, 2016.
- [2]. 吉川慎平, 鷺見哲也:電気伝導率からみた矢作川本川の水質実態と流域構造の特徴, 平成 29 年度土木

学会中部支部研究発表会, 2018.

[3]. 吉川慎平: 矢作川本川の水質と流域構造を知ろう! 電気伝導率からみた矢作川本川の水質実態と流域構造の特徴, 矢作川流域圏懇談会第1回合同部会, 2018.

[4]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 多地点電気伝導率観測から見える矢作川流域の河川水実態, 平成30年度土木学会全国大会 第73回年次学術講演会, 2018.

(2) 関連論文

[1]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 電気伝導率からみた矢作川本川の水質実態と流域構造の特徴, 平成29年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 2018.

[2]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 多地点電気伝導率観測から見える矢作川流域の河川水実態, 平成30年度土木学会全国大会 第73回年次学術講演会講演概要集, 2018.

3.8 各対象地における成果と課題・議論の総括

3.8.1 4水系5現場における指標としてのECの活用と成果

(1) フィールド1: 矢作川本川中流・白浜地先周辺

本現場は矢作川(大河川)の本川河道内に位置する砂州であり, 人工的に造成(掘削)したわんどの湧水(伏流水)環境を対象としている. 現場の課題としてわんど内に「せせらぎ」が形成される量の湧水が自噴することが要求されていたが, 実際は僅かな湧水量しか見られない状況であった. そこでそもそも伏流水の挙動(起源・流動)を捉える方法の一つとして, ECを用いた複数地点・継続調査を実施した結果, 支川からの流動が支配的であることが明らかになった.

本事例でのポイントとして次が挙げられる. 現場の条件として湧水(伏流水)の起源と考えられる本川(矢作川)と支川(加茂川)のECの差が顕著であることが大きく貢献した. このような傾向は事前には分からないが, 当たりをつける目的で実施した周辺河川水のスクリーニング的調査(現場での測定が容易なポータブルセンサーを用いた)により明らかになった. そのことで今回の方法による調査計画の立案に繋がった. わんどの生物との対応や季節変化が未知であるため, 調査は複数地点で1年程度継続したが, その点でも低コストで測定が容易なECをはじめ, ポータブルセンサーによる測定が貢献した. 更に重要な示唆として, 本現場における調査から矢作川本川における低EC傾向が明らかになり, フィールド5の調査の展開に寄与した.

(2) フィールド2: 荒川水系落合川と南沢湧水群

本現場は関東ロームにより形成された台地の崖線下に現れる湧水と, それらを集める湧水河川を対象としている. 現場の課題として豊富な湧水の起源である地下水の涵養域をはじめ, 地表の流域界等が未知(地下水とは対応していないと見られる)であるなど, 通常的水文のアプローチに必要な情報が特に不足している. よって結果として現れる湧水や河川水の水文・水質的傾向を捉えることが先決であるが, きめ細やかなデータは存在しない状況であった. また従来当地ではCOD等の有機汚濁系の指標が調査に用いられてきたこともあり, EC等の溶存イオンに注目したデータが特に不足していた. そこでスクリーニング調査的な目的を含め, ECや水温, pH等を指標とした多地点・継続調査を実施した結果, 当初は水質差が顕著でなかったが, データを蓄積し統計的に見たことで地下水の系統が複数あることが示唆された.

本事例でのポイントとして次が挙げられる. 現場の条件として, 湧水起源の水域であること, 空間的なスケールが小さいこと等から, 明確な水質差が確認されないことが予想された. 予想のとおり各回の調査結果では地点ごとの明確な差異や傾向が確認できなかった. しかし毎回(毎月)のデータを1年程度蓄積し, 統計的に見ることによってグループ化が可能であることが示された. 調査は多地点で1年以上継続しているが, その点でも低コストで測定が容易なECをはじめ, ポータブルセンサーによる測定が貢献した. しかしある1日においては, 混合状況(流量比)を推定できる程の優位な水質差はなく, 流量については通常的水文観測が必要であるという判断に至っ

た。しかしこれも EC を用いたスクリーニング的調査により、素早く概況が捉えられたため早い段階での判断に至ることができた。

(3) フィールド 3: 木曽川水系津屋川流域

本現場は養老山地の複合扇状地末端に現れる湧水と、それらを横断的に集める湧水河川を対象としている。現場の課題として、湧水に依存する冷水性(水温 20℃以下)の希少魚ハリヨの生息場保全と回復のための検討が進められる一方、湧水環境の保全に資する湧水の起源である地下水の涵養域(山域からの沢筋と扇状地帯)をはじめ、各湧水池や本川における実態としての水文・水質データが不足している状況であった。そこでスクリーニング調査的な目的を含め、EC や水温等を指標とした多地点・継続調査を実施した結果、現状の生息場(湧水池)は比較的良好であるものの、それらを結ぶ本川の水質環境が芳しくないこと、EC と流量データの組み合わせにより本川河道縦断における非明示的な湧水の集中区間が捉えられること等が明らかになった。これについては、調査スキームとして提案した。

本事例でのポイントとして次が挙げられる。ハリヨの生息条件としての具体的な水温が生き物側の立場から示されており、湧水環境の評価に大きく貢献している。湧水の起源となっていると推定される沢筋と扇状地地形がある程度明確で、水文的なアプローチ(水収支の検討)が可能であった。事前に当たりをつける目的で実施した周辺河川水のスクリーニング的調査により、湧水池に比べて本川は相対的に EC がやや高いことが検出された。このことから本川上下流縦断での高密度な測定を実施した結果、本川上流部に相対的に EC が高い排水流入があり、流下するに連れ EC が低減(希釈)する様子が確認された。この EC の低減を利用して本川河道縦断における非明示的な湧水集中区間を推定した。重要な点は河道縦断における少数の流量データと多数の EC データとを組み合わせることで、よりきめ細やかな湧水集中区間が見えたことである。

(4) フィールド 4: 利根川水系霞ヶ浦(西浦)と桜川流域

本現場は、関東平野東部の一大農業地帯にあって、流域下流の霞ヶ浦の水が人工的な水路網によって再び流域へと還流する特異な水循環機構を有している。現場の課題として本川河道の水質改善が要求される一方、特異な水循環機構下にあること、自流水が乏しいことなどが制約となっている一方で、流域全体の実態としての水文・水質データが不足している状況であった。そこで流域全体の概況を流況ごとに素早く捉える方法として、EC を指標とした多地点・継続調査を実施した。その結果、季節(農繁期・農閑期)によって水循環の実態は大きく異なっており、排水系を担う河川はその影響を強く受けること、また平野部と山麓部(筑波山系)で EC が大きく異なっていることが明らかになった。

本事例でのポイントとして次が挙げられる。中規模の河川・流域であるが、EC の簡便性により広域、多地点での観測を実現できた。ただし 1 回の調査における時間ギャップ(調査開始から終了)は、調査体制の点から 5 つのフィールド中最大である(1 班 2 日)。本調査によって、素早く流域全体の河川水 EC(溶存イオンの多少)の傾向が概観することが可能であることが分かった。流況別の傾向を捉えるため、調査は多地点で複数回実施したが、その点でも測定が容易な EC をはじめ、ポータブルセンサーによる測定が貢献した。中規模の流域であるため、降雨直後や渇水継続中などイベントの影響下における観測が容易に実施できた。

(5) フィールド 5: 矢作川流域全体

本現場はフィールド 1 の調査から示唆された矢作川本川の低 EC 傾向の検証のため、矢作川流域全体を対象としている。現場の背景としては三河湾への栄養供給(貧栄養な河川水)問題等があり、課題としては実態としての矢作川流域全体の水質形成と河川水における溶存イオンの多少の傾向が未知な状況であった。そこで溶存イオンの多少の傾向を捉える方法として、EC や水温、pH 等を指標とした多地点・継続調査を実施した結果、矢作川本川下流においては本川上流部で形成される低 EC かつボリュームの大きい水塊が通常支配的であることが明らかになった。またその裏付けとして、EC 測定地点での流量観測が事実上不可能なことに鑑み、当該地点上流の流域面積を代用して、本川支川間の流量比(支川インパクト)を検討し実測値と比較した。

本事例でのポイントとして次が挙げられる。本検討における最大規模の河川・流域であるが、EC の簡便性に

より広域、多地点での観測を実現できた。1 回の調査における時間ギャップ(調査開始から終了)はフィールド 4 に次いで大きい(2 班 1 日)。本調査によって、素早く流域全体の河川水 EC(溶存イオンの多少)の傾向が概観でき、潮水の影響範囲の推定、その他相対的な高値・低値等の異常検知等が可能であることが分かった。流況別の傾向を捉えるため、調査は多地点で複数回実施したが、その点でも測定が容易な EC をはじめ、ポータブルセンサーによる測定が貢献した。また観測地点の設定は、流域全体に対する内訳として主要な流域に注目し、その下流末端(流末)を基本としたことで、結果としての個別流域の代表的な値を捉えるところにある。本川については、支川合流後よりも合流前を優先して設定し、更に 1 回のみではあるが流域全体的傾向を可視化するべく、アクセス可能な範囲の上流域(末端部)にも設定した。

その一方で成果の公表等を行う中で EC の相対的な評価における困難性に直面した。これについては 3.8.3 で詳しく示す。

3.8.2 各フィールドにおける実践の全体総括と EC の利用スキーム

河川・流域の規模(空間的スケール)と、抱える背景、課題の異なる中部地方・関東地方の 4 水系 5 現場における実践について示した。そこから各現場における実践の中で利用・確認・開発した手法として大きく 3 点が挙げられる。

(1) 情報不足な現場の導入的調査手法 フェーズ 1

研究目的の一つである情報不足な現場(河川・流域)へのアプローチに際して、事前的、或いは初期段階においてスクリーニング的に EC をはじめ、水温、pH 等のポータブルセンサーで測定可能な項目について、捉えたいスケールに合わせて広域・多地点、或いは高密度で測定することにより、事前には予想していない(分からない)水収支や物質収支を素早く捉えることができ、後の調査計画の立案に資する結果となった。特に EC は水温や pH に比べて保存性が高く時間変動性が小さいため有効である。結果として水質差がなく EC を指標とした検討が難しい場合も、通常の流量(水文)観測への素早い移行が判断できた。初期段階における EC の利用は既往の文献¹⁾でも示されているが、今回の実践により明示的に確認した。詳細は 4.6 で手法として示す。

(2) 流域構造を素早く捉えるための水収支・物質収支の検討手法 フェーズ 2

河川・流域全体(広範囲)の実態としての水収支や物質収支の傾向を捉えたい場合、EC を用いることにより、対象エリアが広い場合は広域・多地点で、狭い場合は高密度で素早く実態としての概況を把握することができた。またそこから流量観測をしない(できない)場合も、EC を利用して本川支川間の流量比を推定することにより、流域構造の実態・特徴を推定可能であることが確認された。詳細は 4.7 で手法として示す。

(3) EC と流量を組み合わせた高度な水収支・物質収支の把握手法 フェーズ 3

更に高度な利用法として、より高解像度に現場の水収支・物質収支を、流量比ではなく実態としての流量で捉えたい場合は、流量の観測が必須となるが、観測が通常容易でないことに鑑み、より簡便な手法の開発が必要である。そこで多地点での EC 測定と少地点での流量観測データの組み合わせにより、河道縦断において通常可視化されない横流入する流量の分布をきめ細かく捉える手法を開発した。3.5 では湧水河川を対象とし、河道水際や河床に表れる非明示的な湧水集中区間を捉える調査スキームとして提案した。詳細は 4.8 で手法として示す。

3.8.3 情報不足な河川・流域の導入的調査スキームとしての提案 (⇔4 章)

以上、EC を指標とした 3 つの手法を軸に、4 章では研究目的の一つである情報が不足した河川・流域の導入的調査スキームとして、体系的に整理し提案する。

3.8.4 EC 測定値の相対評価に資するデータベース化の必要性 (⇔5・6 章)

一方、3.8.1(5)でも触れたとおり、3.7 のフィールド 5: 矢作川流域全体の成果の公表を行う中で、EC の相対的な評価における課題に直面した。EC の評価の困難性については 2.6 で示したとおりである。具体的には矢作川流域の河川水 EC の低さのレベルについて、例えば全国的な傾向に照らした場合といった客観的な解説が現

時点では困難なことが挙げられる。特に普段 EC を利用していない人に対して説明する場合は、全国的なトレンドや他水系との比較は必要である 2.7.2 で示したとおり EC の指標としての利活用を促進するためには、手元の EC の測定値と比較可能な、一覧性の高いマップや統計値等をデータベースとして整備する必要があると考えられる。

よって 5 章では各オープンデータを活用した EC の全国版データベースの整備について検討する。また 6 章ではデータベース化の試行の結果と課題、EC 測定値の読み方、捉え方について示す。

3.9 本章のまとめ

本章でのまとめ及び成果として、次の点が挙げられる。第一に河川・流域の規模(空間的スケール)と、抱える背景、課題の異なる 5 現場(河川・流域)を対象に、EC を指標とした各種利用法を組み合わせた調査の実践について示した。第二に矢作川本川中流・白浜地先(3.3)、荒川水系落合川と南沢湧水群(3.4)、木曽川水系津屋川流域(3.5)、利根川水系霞ヶ浦(西浦)と桜川流域(3.6)、矢作川流域全体(3.7)の順で各現場の概要、課題から調査の内容、結果までを詳細にまとめた。第三に各現場の総括的な考察を通じて、2 章で挙げた EC の利点・優位性について再度評価した。第四に 4 章においてはこれらを踏まえ情報不足な河川・流域の導入的調査スキームとして体系的に整理し提案すること、5・6 章においては EC の相対評価に資するデータベースの化について検討すること、という 2 つの方向性について示した。

3.10 参考文献(第 3 章・総論部分)

- 1) 半谷高久, 高井雄, 小倉紀雄:水質調査ガイドブック, 丸善, 1999.

第4章 電気伝導率を指標とした情報不足の河川・流域の導入的調査スキームの提案

4.1 本章の目的

本章では2章で示したECの利点、各種利用法とその優位性、3章における複数の河川・流域におけるECを用いた実践的検討結果と手法の開発を基に、ECを用いた情報が不足した河川・流域の導入的調査スキームとして総合的に整理し提案する。

4.2 本スキームの位置付けと目的

1章で示したとおり、従来の流域管理では大河川の主要地点等における調査・観測によりマクロに流域情報を捉えていたのに対して、水循環基本法における流域総合管理の理念である健全な水循環系の構築を実現させるためには、流域の末端部(ミクロ)までの情報を包括した、マルチスケールでの流域情報管理化による実態把握が必要不可欠である。

一方で流域の末端部においては基礎となる水文・水質データをはじめとした各種情報が不足する傾向にあり、水収支が捉えられていないのが現状である。しかしながら、既知点と同等レベルで調査・観測体制を拡大・拡充することは経済性の点からも容易ではない。このような状況を鑑みて、大河川の地先や、中小河川、池沼、湧水(地下水)等を対象とすることを想定し、計画の事前・或いは初期段階において、低コストでより素早く現場の水循環機構や保全のために必要な情報等の概況を捉えられる調査スキームを、2章で示したECの利点、各種利用法とその優位性、3章におけるECを用いた実践的検討結果と手法の開発を基に総合的に整理し提案する。

全体フローチャートを図4-1に示す。本スキームは事前準備とフェーズ1～3で構成される。また本スキームにおける事前準備とフェーズ1の河川・流域における水循環機構流域構造の把握と、フェーズ2のECを指標とした導入的調査は、市民活動(地域住民)や学校活動等のレベルで取り組むことも想定し、なるべく簡便な方法であることも重要な要素と考えた。なお、フェーズ3は最も高度かつ高コストな通常的水文観測(流量観測等)を含むオプションである。

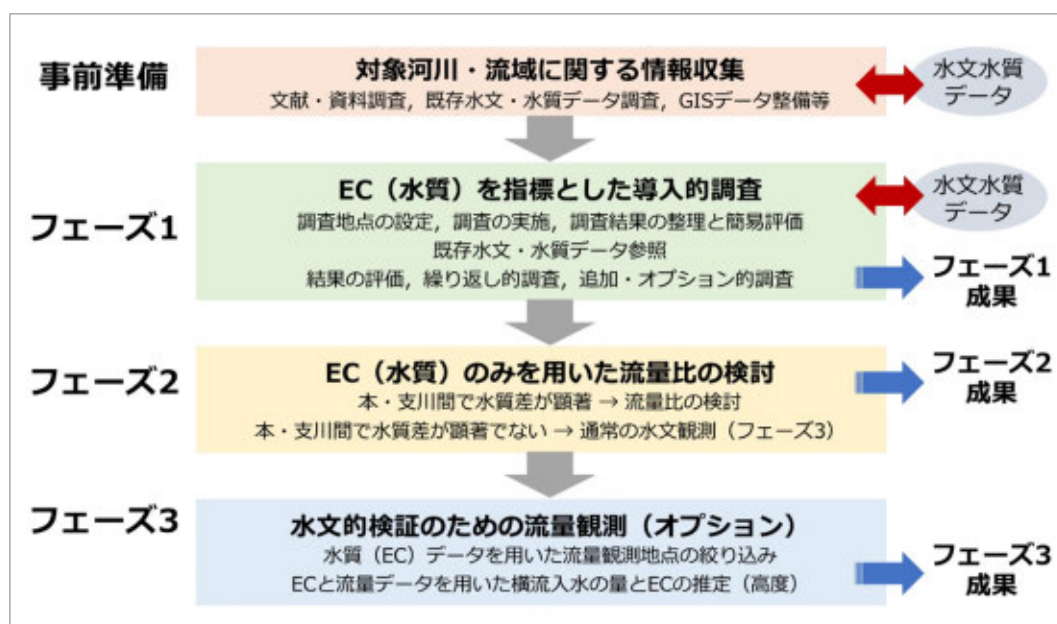


図 4-1 本スキームのフローチャート

4.3 本スキームの特徴と適用が想定される現場・ケース

本スキームは既存の水文・水質観測手法のうち、2章で示したECの利点・優位性を活用した現場観測を基

本とする対象河川・流域の導入的調査手法である。通常高コストな環境水の流量観測や溶存イオン分析等に先行して、低コストで測定でき簡便性の高い EC を指標とした調査により、3 章で示したとおり河川・流域の概況が素早く捉えられる点が挙げられる。また素早さとともに継続的な調査実施も容易である。加えて 3 章で示した通常は容易に捉えられない河道縦断における非明示的(可視的でない)流量増加(湧水等)の検出手法についてまで提示している点が特徴といえる。

本スキームの適用が想定される現場は、4.2 で示したとおりであるが、主に中小河川の流域において①水循環機構情報(河道や水路等の水系、水利用、流入水、湧水・伏流水等の現況)、②水循環の実態としての水文情報(水位・流量変動)、③水循環の結果としての水質情報、等が不足している「未知」の現場である。実際問題として、特定の研究対象地になっている場合を除き、これらが満たされている(既知)状態であることは稀有なものと想像される。「未知」とは一般にアクセス可能な既知情報になっていないことを含む。

このような情報不足(未知)の中小河川流域(以下、対象河川流域)において想定される具体的なケースとして次が挙げられる。①高度な水利用等、複雑さが予測される対象河川流域において水循環の現況を捉えるケース、②対象河川流域における無機質なポイントソース(工場・鉱山・温泉排水等)の追跡・特定をするケース、③対象河川流域において水生生物(特に湧水環境依存種等)の生息場保全を検討するケース、等が考えられる。

本スキームは上記のような現場の調査実施の計画段階、或いは初期段階において概況を捉える導入的調査として実施することを想定する。4.4 で実際の適用方法について示す。

4.4 本スキームの現場への適用の実際

4.3 で示したような対象河川流域を想定して、現場における具体的な調査手順について示す。フェーズ 1 では事前的な対象河川・流域に関する情報収集とプラットフォーム整備について。フェーズ 2 では EC(水質)を指標とした導入的調査とそのオプション的調査について。フェーズ 3 ではオプションとしてより高度な水文の検証のための流量観測について。またフェーズ 2 の結果を基に流量観測を効率化する方法についてまとめる。

なお 3 章での 4 水系現場と本スキームで示す 1 から 3 のフェーズの対応は以下の通りである。具体的な現場における事例は 3 章を参照されたい。

- フェーズ 1 レベル: 矢作川本川中流・白浜地先(3.3)、荒川水系落合川と南沢湧水群(3.4)、利根川水系霞ヶ浦(西浦)と桜川流域(3.6)の調査。

以上は EC を基本にスクリーニング的かつ繰り返しの調査の実施により、実態としての流水の同質性、異質性を可視化し、仮説の抽出等、今後の課題と方向性についての整理を試みたケースである。

- フェーズ 2 レベル: 矢作川流域全体(3.7)の調査。

以上はフェーズ 1 の要素に加え、きめ細やかな本・支川の EC とそれぞれの流域面積のみを用いて流量比についての検討から流域構造(水循環機構)の実態を可視化し、仮説の抽出等、今後の課題と方向性についての整理を試みたケースである。

- フェーズ 3 レベル: 木曽川水系津屋川流域(3.5)の調査。

以上はフェーズ 1, 2 の要素に加え、フェーズの 1 の情報に基づいて設定した地点における流量観測結果ときめ細やかな EC を用いて横流入量の推定を試みたケースである。

本スキームでは必ずしも事前準備とフェーズ 1 から 3 まで連続的に実施をする必要はなく、情報が不足した流域・河川の概況のあたりをつけるという点では、事前準備からフェーズ 1 までをまず実施することが望ましい(フェーズ 1 成果)。調査の目的に得られた結果を照らし、その後の調査の展開・方向性を検討する。フェーズ 1 の成果を元にしたフェーズ 2、フェーズ 3 のアウトライン(イメージ)を先行して図示する(図 4-2～4-3)。

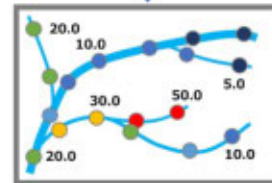
フェーズ1 (アウトライン)

1. 水質調査地点の設定方法
2. 水質調査の実施と必要資機材
3. 調査結果の整理と簡易評価
4. 既存水文・水質データの参照
5. 水質 (EC) の結果の捉え方
 - 1) 相対的なEC差が小さい均一的な傾向にある場合
→ ECのみでは優位な結果が得られないため、**フェーズ3 (通常の水文観測)** へ移行。
 - 2) 相対的なEC差が大きく水の連続性との関係性が見込まれる場合
→ ECの実測値と流域面積から流量比の検討が可能のため、**フェーズ2**へ移行。
6. 繰り返しの調査
 - ・毎月 (定期)、季節、流況別といった頻度で調査。
7. 追加・オプション的調査
 - ・イオン分析、水温・ECロガーによる連続観測等。

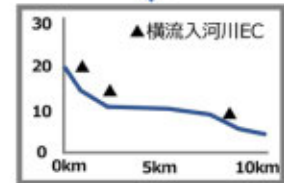


＜情報が不足した河川・流域へのアプローチ＞
本・支川合流前を基本に多地点設定しECを測定

フェーズ1 成果



＜空間的可視化＞
GPS・GIS等を利用



＜本川ECの縦断変化＞
Excel等を利用

*数値はイメージ

図 4-2 フェーズ1 のアウトライン(イメージ)

フェーズ2 (アウトライン)

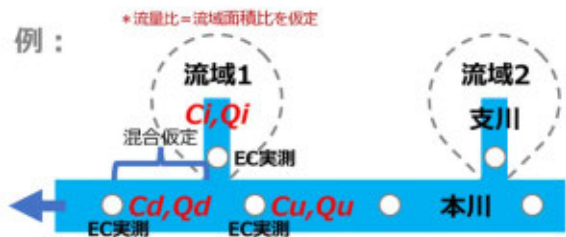
1. 本川に対する支川 (横流入水) インパクト
 - ・本川に横流入する中小河川・流域の水収支的、物質収支的インパクトを捉えることが有効。
 - ・流量の代わりに流域面積の値を扱い「**流量比**」と流域面積比と仮定。結果として求められる本川の支川合流後のECと、実測によるECを比較する。

※ 流量 [Q] の代わりに流域面積 [A]

$$C_d = C_u \frac{A_u}{A_d} + \sum_i C_i \frac{A_i}{A_d}$$

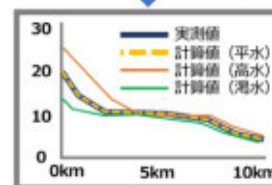
※ [Cd] は計算値 ⇔ 実測値 (EC) と比較可能

2. 結果の捉え方
 - 1) 計算値と実測値の結果が一致する場合。
 - 2) 計算値と実測値の結果が一致しない場合。
 - ① 結果が一致せず計算値に対して実測値が低い側に歪む場合。
 - ② 結果が一致せず計算値に対して実測値が高い側に歪む場合。



＜ECと流域面積から本・支川合流を構造的に評価＞
 $Q_i/Q_u \approx A_i/A_u$ の比較で流域構造を定量的に捉える

フェーズ2 成果



＜本川ECの縦断変化＞
実測値と計算値を比較

結果を比較・考察

例：結果が一致した場合、流量比は流域面積比で説明可能。流域からの一様な流出に対応。
→ 流域構造の特徴を捉えられる。

*数値はイメージ

図 4-3 フェーズ2 のアウトライン(イメージ)

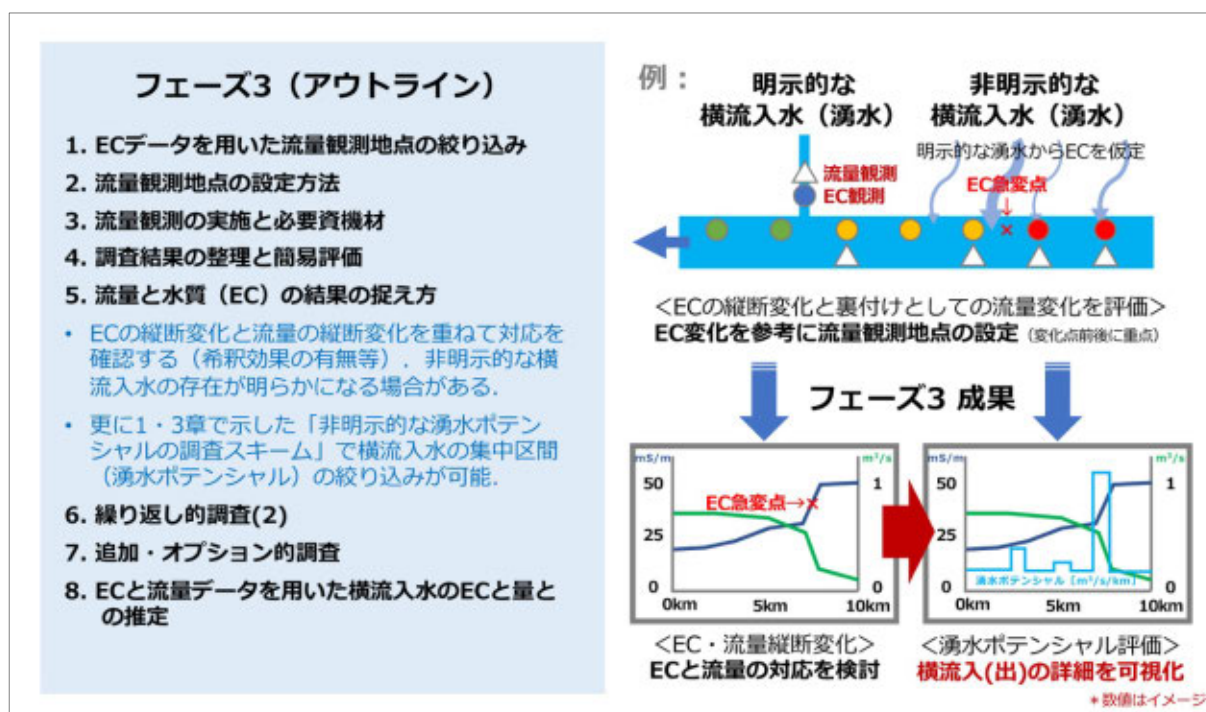


図 4-4 フェーズ3 のアウトライン(イメージ)

4.5 対象河川・流域に関する情報収集とプラットフォーム整備 (調査準備)

4.5.1 河川・流域における水循環機構 (流域構造) の把握

はじめに水文・水質情報取得の検討に先立って、対象河川・流域における水循環機構(水系等の流域構造)をはじめ、地質や土地利用等の概況の把握、基盤データ等を収集したプラットフォームを整備しておくことが肝要である。現地調査も有効であるが、文献・資料調査の実施が望ましい。河川管理者によって「河川整備計画」が策定されている場合、こうした情報が記されている可能性が高く、参照は必須であるが、本スキームで対象とする中小河川等の現場においては、そもそも策定されていないケースが多いと予想される(本スキームは河川整備計画等の計画策定に資するものとする)。図面等、入手したい資料が明確であれば河川管理者へ直接問い合わせることも有効であるが、そもそも河川管理者を特定することも容易ではない場合がある。河川管理者やその境界の特定は、現場へ出掛けて標識等を確認した方が早道なこともある。

このような河川では、資料・文献も非常に限られることが予想される。可能性としては現場付近の公共図書館や都道府県立図書館で入手できる「市区町村史」が利用可能な場合がある。また地元の郷土資料館や博物館の訪問も有効である。

また一方で Web からの入手(参照)可能な地形図や航空写真、地質図、植生図の収集も必須である。またGIS(地理情報システム)を用いて流域図を作成することが有効である。GISで取り扱うデータセットは、国土数値情報から河川や流域メッシュデータ等のオープンデータが利用できる。流域メッシュデータを用いると、最も重要な流域界を描画することも可能である。これによりそれぞれの流域面積[A]を求めておくことで、フェーズ2における流量比の検討時に有効である。詳しくは4.7で示す。

このような一連の情報収集によるプラットフォーム(基盤データ)の整備は、4.6.4以降の現地調査の実施、調査結果の整理と評価で役に立つ。煩雑さを回避するためにも事前に収集できる情報は押さえておくことが肝要である。

4.5.2 既存水文・水質データの収集 (⇔5・6章)

次に既存の水文・水質観測データの収集が挙げられる。対象河川流域における水文観測地点は、防災の観点から公開が進んでおり、国土交通省の「川の防災情報」や都道府県の各種防災情報ページからその地点を

確認することができるが、水位計については対象河川流域には地点が存在しないこと、存在しても下流に 1 点程度と予測される。雨量計については、近傍に地点が見つかる可能性がある。対象河川流域の周囲を含めて参照すると良い(ティー線分割法による流域平均雨量の算出できる程度)。

本スキームで指標とする EC について詳しくは 5・6 章で示すが、このような調査に先立っての事前情報を参照できるデータベースが存在することが望ましい。それにより対象地周辺の EC の傾向を事前に捉えることができる。

4.6 EC（水質）を指標とした導入的調査（フェーズ 1）

4.6.1 水質調査における共通事項

(1) 水質調査計画の検討

事前に流域構造並びに水文・水質観測地点の情報が得られたら、次に水質(EC 等)の観測地点の設定について検討する。調査地点の設定は、対象とするスケールによって変化するため 4.6.2 で個別に示すが、はじめに共通事項について次に示す。

水質調査は対象河川流域のスケールによるが、調査員 1～2 名で日中に完了できる程度の設定・計画が適当である。EC を基本項目とし、水温や pH といった即時性の高い(瞬時に測定値が得られる)項目のみ利用する。

初回の調査の場合、調査地点は道路橋ごとなど、できるだけ多くの地点(高密度)で測定し、対象河川流域の「スクリーニング」を実施することが肝要である。この結果(情報)は 4.8.1 で示す流量観測地点の設定にも資する。ただし効率的に実施するため、順序として各河川の下流端(合流前)とアクセス可能な範囲の上流端で測定し、上下流での差が認められればその水質変化点を特定するため、中間的を補完(測定)するのが良い。上下流と「値がほとんど変わらない」という結果が得られる可能性もあるが、そのことも情報としては重要である。

道路橋で実施する場合、採水位置は流心かつ表層 1 点のみとし、現地でポータブルの EC 計を利用して測定する。経験によっては採水を含め 1 地点 1～2 分程度での測定が可能であり、気温の測定や撮影等を含めても 5 分以内に終了することが可能である。このような方法で対象河川流域における「多地点観測」を基本とする(同時刻観測ではない)。なお都合の良い区間に道路橋がない場合は河道内に直接立ち入ることが考えられるが、その場合も採水位置は極力左右岸に偏らないようにする。また滞筋が複数ある場合は主流(流量が多いか流速がある)とする。

GIS 等で結果を空間的に可視化するため、測定地点の位置情報の取得は重要である。GPS 端末があれば良いが、ない場合は Google Map や地理院地図等で位置を特定し座標を収集する。

なお EC によって環境水の無機(溶存イオン)的な傾向が捉えられるが、有機的な傾向(汚濁負荷)を捉えたい場合は、代表的な指標として「バックテスト」による COD 等の測定が考えられるが、試薬のコストが発生すること、測定(反応)時間として 5 分程度を要することから即時性には優れないため、調査員が複数いる場合などで検討する。



(左, 右) 道路橋からバケツによる採水状況 (流心・表層)



(左) 採水した水を現場で即時に測定 (EC, 水温, pH 他), (右) 対象水中にセンサーを直接投入した測定

図 4-4 現地での採水・測定状況

(2) 水質調査の実施と必要資機材

初回の水質調査は、流況が定常状態に近いと予想される日に実施する。出水の影響を受けている期間(低減)中は避ける。オンラインの水文観測所が存在すれば、事前に以況等を把握すると良い。一方で異なる流況での測定も追って実施すると年間の変動傾向が把握できる。(1)で示したとおり、調査は 1 名でも十分実施可能であるが、安全管理等種々の点から 2 名以上が望ましい。調査項目と地点は同じく(1)で示したとおりである。ポータブルの EC・pH 計(水温計付属)の他、新規測定地点の位置情報を取得するための GPS 端末、採水バケツ、カメラ、記録表等、持ち物は一般的な水質調査に準拠する。日中に完了できる程度の計画とし、水質調査だけではなく同時に流域構造を把握・確認するための巡検を実施するゆとり時間が持てると良い。

4.6.2 水質調査地点の設定方法

(1) 対象河川流域全体の概況を捉える場合(マクロスケール)

対象河川流域全体を捉える場合、作業量は最大となるが、全体の傾向を捉えておくことは基本的な流域情報として極めて重要である。4.5.1 で示したとおり、流域図を用意し流域内を極力網羅するように測定することで、空間的な傾向をマクロ的に可視化できる。この場合観測地点の空間密度は以下の(2)や(3)に比べて粗くても良い。ただし効率的に実施するため、順序として(2)や(3)を実施して、徐々に調査範囲を拡大し流域全体に拡げるのが良い。水温や pH は難しいが、EC はその保存性を利用して、異なる季節や降雨時や渇水時といった極端な流況でなければ、ある程度連続的に評価することができる。

また 4.5.1 で示した事前の情報収集(特に地理的情報)により、水質差が生じている可能性について予見を持ってアプローチすることも考えられる。例えば自然的影響として地質的バックグラウンド、温泉・鉱泉水の流入、人工的な影響として工場や下水処理場からの流入、水力発電や農業用水のための導水(放流)による影響等が挙げられる。

(2) 対象が河道(上流～下流)のみ、或いは河道地先の場合(マクロ～ミドルレンジスケール)

対象が河道(上流～下流)のみの場合、対象河川のアプローチ(アクセス)可能な上流部(山域等)から下流部まで、縦断方向に橋ごと等で高密度に測定する。横流入支川や水路があればそれらの極力下流末端を同様に測定する。その際、本川のバックウォーターの影響が及ばない範囲まで後退することが肝要である。一方溪流河川などで下流末端の測定が容易でない場合は、直上流の道路橋とし、同地点から合流点まで区間に横流入水が無いことを検討する。

本川縦断での測定の優先度として、本川・支川の合流前をそれぞれ優先する。逆に本川と支川の合流後(直後)については、流水の混合状況が未知であり、(1)で示した流心かつ表層1点のみの測定では評価できないため優先度合いは低い。

また本川河道の地先(任意の区間)を対象とする場合、大河川・中小河川を問わず、対象地点・区間の上下流方向に数点測定することで、流程における現場のミドルレンジ的な位置付けが可能である。ただし網状砂州を形成するような大河川では、横流入水の影響により左右岸で水質等が異なる場合もあるので注意が必要である。

(3) 対象が河道に接続する細流(湧水池等)のみの場合(ミクロスケール)

対象が河道に接続した細流や湧水池のみである場合、対象範囲を詳細に測定する。ただし本川河道の水域としての連続性があり、対象とする生物の往来が予測される場合や、出水や潮位によって本川が水位変動し、その影響を受けるような水域である場合は、本川河道についても測定すると良い。

また対象エリアに湧水環境等がある場合、湧水起源(涵養域等)の特定は重要な情報である。扇状地における伏流水起源や、背後の山域等、水源域が推定できる場合はそうしたエリアの調査も有効である。

以上、実際には現場の状況や観測体制に応じて、これらを組み合わせた調査計画を立案し実施することになる。また現地状況に合わせて柔軟に対応することも肝要である。

4.6.3 調査結果の整理と簡易評価

調査実施後、調査票等については速やかに Excel 等に入力し整理・計算する。GPS で取得した位置情報についても同様に転記する。入力ミス等の確認のため調査票の原本は当分の間保管しておくことも肝要である。

初回調査による EC 測定値等については、今後の調査計画の検討のためにも一旦可視化し簡易評価することが必要である。一つは GIS を用いて流域図に測定値をプロットし空間的に可視化する方法、一つは横軸に縦断距離、縦軸に測定値をプロットし、水質の河道縦断における変化を可視化するのが良い。横流入水の水質についても合流点の縦断距離にプロットすると良い。この際必要となる河道の縦断距離は河川管理者から平面図・縦断図等の提供を受けるか、現地距離標により収集することも考えられるが、GIS 或いは Google Earth や地理院地図の距離測定ツールを用いて簡易測定(空中写真により滯筋を手作業で判定)する方法が早い。

以上により、まずは対象河川流域の水質的概況を捉えることが可能となる。結果の評価とその後の展開については 4.6.5 で示す。

4.6.4 既存水文・水質データの参照 (⇔5・6 章)

4.6.3 における調査結果の整理に続けて、4.5.2 でも示した既存の水文・水質データとの比較を実施する。

水文データでは、当該河川における水位データが得られれば、調査当日の最近 1 ヶ月程度の状況(以況)を確認する。水位データが得られない場合は雨量で代用する。また調査期間中は同様に水位・雨量データを継続して収集し、水質・流量の結果と共に示すと良い。

参照する水質データの内、5・6 章で詳しく示すが本スキームで指標とする EC については現状既存のデータベース(環境省:水環境総合情報サイト等)に掲載されておらず、容易に参照(比較・検討)をすることができない。そのため個別の地域のデータ(都道府県による公共用水域水質測定結果等)を参照するしかない。今後データベースの整備が望まれる。

4.6.5 水質(EC)の結果の捉え方

4.6.3 で示したとおり、EC 測定値等を流域図や河道縦断でプロットした結果を用いて評価する。

流域図では、プロットから値の傾向を概観する。全体として均一的な(相対的な EC 差が小さい)分布傾向か、高い値・中間的・低い値等が分布する(相対的な EC 差が大きい)傾向か。またそれらは、水の連続性(流域構造)に照らして系統的になっているか、局所的かなどを詳しく見る必要がある。

河道縦断では同様に全体として均一的(EC 差は小さい)か、低から高、或いはその逆といった変化傾向か。また変化傾向は緩やかか、急変しているかなどを詳しく見る必要がある。

以上に共通して捉えられる傾向から予測される可能性と、その後の展開については次が挙げられる。

(1) 相対的な EC 差が小さい均一的な傾向にある場合

均一的な傾向にある場合、水(水中の溶存イオン)の同質性(近似性)が予測される。比較的狭いエリアや同一河川(水系)を対象とした場合、特に湧水河川等を対象とした場合、そのような傾向になることがある。3.4 で示した落合川と南沢湧水群のケースも同様である。河道縦断で見ても横流入する支川等の流入水の EC が同レベルである場合、本川の EC は変化しない。このように EC の差が顕著でない場合、水質による流量変化地点の予測等が困難(適用除外条件)であるため、既存の流量観測を用いた方法となる。

しかしながら、3.4 の荒川水系落合川と南沢湧水群のケースのとおり、4.6.6 で示す繰り返しの調査により傾向が捉えられる場合もある。また同質性を検証するためには 4.6.7 で示す追加・オプション調査における溶存イオン分析等が必要である。なお降水の影響や豊水期、灌漑期には変動幅が小さくなる傾向にあり、そのような場合 1 回のみで評価するのは危険である。よって 4.6.6 で示す繰り返しの調査が必要である。

また河道によっては河川水から地下水へのリーク(逸失)が疑われる現場もある。そのような現場においても EC の差が顕著でない場合、水質による流量変化地点の予測等が困難(適用除外条件)であるため、既存の流量観測を用いた方法となる。

(2) 相対的な EC 差が大きく水の連続性との関係性が見込まれる場合

一方 EC 差が顕著な場合は 2 章で示した EC の利点・優位性が活用できる可能性が高い。流域図上で見ている場合、その値の高低は水の連続性(流域構造)に照らして系統的であるか、局所的かを見る必要がある。系統的であるかどうかは、河道縦断にプロットして評価すると良い。

EC が変化している地点・区間が存在する場合は、水の出入りが予測されるため、流域図や現地状況から支川や水路・排水管の接続・流入の有無を確認し、EC を測定していれば値を確認する。また明示的な流入が見当たらない場合、非明示的な湧水(河床や水際に見られる)の流入が予測される。その際の EC と流量観測を用いた調査方法は既報¹⁾を参照されたい(3.5 に掲載)。なお河道縦断で急変(急上昇・急降下)している場合、近傍に極端な値の EC、かつ本川に対してある程度の流量比を持ったポイントソースがあることが予測される。

このようなスポット(局所)的なポイントソースがある場合、工場排水や温泉水、他水系からの導水、周辺と系統(深さ等)が異なる湧水等が予測される。現地調査(水路等の追跡や聞き取り等)や文献・資料調査でほとんどの場合起源が明らかになるが、湧水等である場合 EC の高低(溶存イオンの多少)の原因を評価することは容易ではない。4.6.7 で示す追加・オプション調査における溶存イオン分析等が必要である。またこれらのポイントソースの流出先の影響についても詳しく評価すると良い(データがない場合は追加調査)。EC が周辺の環境水に比べて高低がある場合、流量に応じて流出先に影響を与えるケースが多々ある。またポイントソースをはじめ 1 回のみで評価するのは危険である。時間的な変動傾向を捉えるためには、4.6.6 で示す繰り返しの調査が必要である。

また(1)でも述べた通り河道によっては河川水から地下水へのリーク(逸失)が疑われる現場もある。そのような現場(区間)では、予備的な流量観測、差圧マノメータ等を用いた確認が必要である。リークが顕著な場合、河道への復帰の有無も含めて個別の検討が必要になる。

4.6.6 繰り返しの調査

4.6.5(2)で示したとおり、初回調査のみで断定することは危険である。そのため可能な範囲で季節や流況ごとに調査を継続し、EC 測定値の傾向(EC の時間変動幅)を確かめると良い。特定の地点(代表地点やポイントソース)は、場合によっては 3.5.4(1)c)の津屋川の事例の通り、工場の操業(地下水揚水や排水流入)による日変動や曜日変動(平日と休日)等についても確認することも考えられるが、手間を要するためデータロガー(EC・水温)を利用する方法もある。このような繰り返しの調査においても、低コストで測定が可能な EC の利便性は高い。

4.6.7 追加・オプション的調査

4.6.5(1)で示した水の同質性やポイントソースの内訳を確認するためには、溶存イオン分析が必要である。初回調査時に、溶存イオン分析実施が可能か、分析機関への委託等の可能性がある場合、予めサンプリングリスト

ックしておく和良好的。0.45 μm 以下のシリンジフィルターにより土粒子や有機物を除去しておくことで保存が可能である。分析機関や方法にもよるが、サンプルは 100ml 程度あれば十分である。またサンプル数を増加させると処理や経費の負担となるため、代表的な地点や、周辺の環境水に比べて特異な傾向を示した水（極端な高低）のみを対象とする方法もある。但し海水の影響と見込まれる高 EC の水は除いて良い。

また 4.6.6 で示したデータロガーによる連続観測も可能である。EC のロガーも市販されているが、特に水温ロガーは安価で活用できる。水温は周回型の現地調査では同時性が担保できないため、利用価値は高い。

4.7 水質（EC）データのみを用いた流量比（支川インパクト）の検討（フェーズ 2）

4.7.1 本川に対する支川（横流入水）インパクト

河川・流域構造を把握する上で重要な、水質形成の特徴、水循環機構の実態を捉えるためには、本川に対して横流入する内訳としての中小河川・流域の水収支的、物質収支的インパクトを捉えることが有効である。

単純な本・支川の合流における流量比の検討は、通常直接的に流量または流量の比を観測により求める。しかしここでは、3.7 の矢作川流域全体の事例で示したとおり、現場での流量観測が容易でないことに鑑み、EC のみの実測から検討する。流量の代わりに流域面積の値を扱い流量比 $\equiv$ 流域面積比と仮定し、計算結果として求められる本川の支川合流後の EC と、実測による EC を比較する。これにより本・支川間の流量比の大きさとその歪みの有無（妥当性）の検討を行うことで本川に対する支川（横流入水）の質的・量的インパクトを明らかにする。具体的には 3.7.5 で示した水収支・物質収支の式と同じく以下の手順で検討する。なお当該区間での地下水の流入は想定していない。

物質濃度を $[C]$ 、流量を $[Q]$ と表す時、水収支式を式(4-1)、物質収支式を式(4-2)と表される。ここでは $[C]$ の代わりに物質の保存性を仮定し EC の値を扱う。また調査地点の $[Q]$ は取得していないため（多地点での観測は現実的に不可能）、 $[流量比] \equiv [流域面積比]$ と仮定し、 $[Q]$ の代わりに流域面積 $[A]$ の値を扱い検討してみる。

本川の支川合流前地点 $[Cu]$ と、支川合流後地点 $[Cd]$ （完全混合が仮定できる程度の距離を置く）と、横流入する支川合流前地点 $[Ci]$ の EC をそれぞれ実測する。本川の支川合流後地点 $[Cd]$ の値を未知として扱い、式(4-3)により EC の計算値を求める。

$$C_d Q_d = C_u Q_u + \left(\sum_i C_i Q_i \right) \quad (4-1)$$

$$C_d = C_u \frac{Q_u}{Q_d} + \sum_i C_i \frac{Q_i}{Q_d} \quad (4-2)$$

※ 流量 $[Q]$ の代わりに流域面積 $[A]$ 、但し以下の水収支式による

$$Q_d = Q_u + \left(\sum_i Q_i \right)$$

$$1 = \frac{Q_u}{Q_d} + \sum_i \frac{Q_i}{Q_d}$$

※ 流量[Q]の流域面積[A]に比例すると仮定

$$1 = \frac{A_u}{A_d} + \sum_i \frac{A_i}{A_d}$$

※ この条件の下, 物質収支式は次式となる

$$C_d = C_u \frac{A_u}{A_d} + \sum_i C_i \frac{A_i}{A_d} \quad (4-3)$$

※ [C_d]は計算値 $\Leftrightarrow$ 実測値(EC)と比較可能

計算によって求めた本川下流地点の[C_{out}]と, 実測値(共に EC の値)を比較し, 結果によって次のことが推定可能である. ここでは, 説明上の条件として, EC は矢作川と同様に本川側が低値, 支川側が高値, 流況は定常状態(平水), 本・支川の合流後は完全混合が仮定でき, 更に測定精度は担保されているものとする.

4.7.2 結果の捉え方

(1) 計算値と実測値の結果がほぼ一致する場合

流量比は流域面積比で説明可能. 本・支川の流量が流域からの一様な流出に対応していると推定され, 上流において人工的な水のコントロールが無い, または働いていない自然流況に比例した状態といえる.

(2) 計算値と実測値の結果が一致しない場合

結果が一致しない場合, EC は実測値であり, 流域面積比も固定であるため, 実際の流量比に歪みが生じていることになる. 流量比の歪みをもたらす要因として大きくは自然的要因と人工的要因の 2 つが考えられる. 自然的要因としては, 流域の流出特性が異なること, 出水後の低減の影響下にあることが考えられる. 人工的要因としては, ダムでのコントロールや取水, 他流域(水系)からの導水等が考えられる.

但し本川の流量が減少している場合, 当該区間での地下水の影響が顕著になる場合もありうる. また結果の計算値に対する実測値の歪み方により次のことが考えられる.

① 結果が一致せず計算値に対して実測値が低い側に歪む場合

2 つのパターンが考えられる. 第一に本川の流量が一時的に増加しており, 支川濃度の希釈効果が大きい(ダムからの利水放流や出水後の低減の影響等). 第二に支川の流域面積に対して実際の流量が小さく, 本川に対するインパクトが小さい(支川におけるダム貯留, 取水の影響等).

② 結果が一致せず計算値に対して実測値が高い側に歪む場合

①の逆のケースが考えられる. 第一に本川の流量が一時的に減少しており, 支川濃度の希釈効果が小さい(ダムでの貯留等). 第二に支川の流域面積に対して実際の流量が大きく, 本川に対するインパクトが大きい(ダムからの利水放流や出水後の低減の影響等).

(3) 流量比の歪みの検討による流域構造の逆推定

これを利用することにより, EC の測定のみで本川に対する支川のインパクト(流量比)が, 流域面積等の自然地形と流出に応じたものか, 貯留, 取水, 導水・バイパス等により人工的な歪められたものかを捉えることができ, 流域構造を把握する上で重要な水質形成の特徴, 水循環機構の実態を捉える大きな手掛かりになる.

実際に調査に際して, ダム等が存在し水のコントロールが明確な場合は, 放流等が行われていないなど, 極

力定常状態で実施すること、また流況別に複数回実施することが望ましい。矢作川においても、複数回実施したことで、一致するケースと一致しないケースの両方が捉えられた。

4.8 水文学的検証のための流量観測・オプション（フェーズ3）

4.8.1 水質（EC）データを用いた流量観測地点の絞り込み

4.7 で河川・流域における結果としての水質（EC）の捉え方について示した。次の段階では実態としての水循環や流域の水収支を定量的に捉えるためには最終的に流量[Q]を把握する必要がある。しかしながら流量の既知観測地点は水位計が設置された大河川の主要地点（治水基準点）などが中心であり、本スキームで対象とする中小河川においては地元の市区町村が実施していない限り、そのデータはほとんど見られないのが現状である。よって当該河川・流域におけるきめ細かな流量増減を捉えるためには、水質と同様に観測地点を設定し調査を実施する必要がある。

一方 4.6.5(2)で示した河道縦断で EC が変化している地点・区間の存在が明らかな場合、詳しくは 4.8.2 で示すが高コストな流量観測地点数を最低限にするため、これを予測的に絞り込むことに利用できる。通常水収支や河川環境の観点から河道縦断を見る場合、特に非明示的な湧水や伏流水の流入等を捉えるためには、直接流量観測に走りがちだが、時間コストが高く効率的な調査は望めない。そこで観測が容易で高密度化が可能な EC 等の水質情報と、そこから観測地点を絞り込んだ流量情報を組み合わせることで効率的に概況を捉えることができる¹⁾。4.8.2 ではこのような EC データが得られていることを前提とした方法について示す。

4.8.2 流量観測地点の設定方法

流量調査は、対象河川流域のスケールによるが、調査員 2 名で日中に完了できる程度の設定・計画が適当である。1 名での実施は難易度が高い。断面分割法等の既存の観測手法を用い現地で河道断面を計測し、ポータブルの流速計（高額で通常容易に入手できない）を利用して観測する。水深によっては胴長やボートが必要となる。河川の規模や状況によって異なるが、1 地点 30～60 分程度要する。そのため水質のような対象河川流域における「多地点観測」は望めず、流域を網羅するような調査は現実的ではない。また水温や pH 程ではないが、時間変化を意識し天候（流況）が安定した 1 日で完了させることが必要であり、現地状況や調査員の熟練度等を勘案して調査可能地点数を明確にする。1 日 10 地点程が限界と思われる。

具体的な観測地点は、原則として本川・支川（横流入水）の合流点（合流前）等に設定する。横流入水は本川との水質差、流量比を比較し、無視できると判断できるレベルのものは省略する。一般区間の河道については、4.8.1 並びに既報¹⁾で示したとおり、本川の EC と流入する湧水や伏流水の EC とに差がある条件では、本川河道のある区間において EC の変動（転換）が顕著な場合、横流入水による負荷や希釈の影響として扱うことで、通常目視では見つけることが難しい、水際や河床部に現れる湧水の流入を捉えることができる。この当たりをつけることで、一般区間の河道における流量観測地点の適地を設定（絞り込む）が可能である。具体的には、EC 縦断図の折れ線の転換点の前と後の区間に設定することが望ましい。また取水等により河道からの流出があれば設定する。

なお本川の EC の縦断変化には流入の影響に限らず流出が絡む場合もある。取水により本川流量が大きく減少した直後に、流入があると流量比次第では流入水の影響が顕著となり、負荷或いは希釈の影響でその下流地点の本川 EC が大きく変動することもある。

4.8.3 流量観測の実施と必要資機材

初回の流量観測は、流況が定常状態に近いと予想される日に実施する。オンラインの水文観測所が存在すれば事前に以況等を把握すると良い。異なる流況での測定も追って実施すると年間の変動傾向が把握できる。4.8.2 で示したとおり、調査は測定者と記録者の最低 2 名が必要だが、2 名以上が望ましい。調査項目と地点は同じく 4.8.2 で示したとおりである。ポータブルの流速計の他、新規測定地点の位置情報を取得するための GPS 端末、メジャーやペグ、カメラ、記録表等、持ち物は一般的な流量観測に準拠する。また、EC との関係を見るた

め、最低でも流量観測地点で EC を測定する。別行動班が設定できれば、当日に 2 回目の水質調査を実施するのが望ましい。日中に完了できる程度の計画とする。



図 4-5 現地での流量観測状況

4.8.4 調査結果の整理と簡易評価

調査票や現場の写真については、調査実施後速やかに Excel 等に入力し整理・計算する。GPS で取得した位置情報についても同様に転記する。入力ミス等の確認のため調査票の原本は当分の間保管しておくことも肝要である。

EC 測定値等と同様に今後の調査計画の検討のためにも、一旦可視化し簡易評価することが必要である。一つは GIS を用いて流域図に測定値をプロットし空間的に可視化する方法、一つは横軸に縦断距離、縦軸に測定値をプロットし、水質の河道縦断における変化を可視化するのが良い。その際河道縦断における横流入水の流量についても合流点の縦断距離にプロットすると良い。

なお流量観測地点設定区間において、流量変化が顕著でない区間が明らかになった場合、特に流量縦断図の折れ線の傾きに寄与しない場合は、観測地点を再考する(場合によっては次回以降の観測を中止し必要な新規地点へのリソースとする)。

以上により、対象河川流域の流量的概況と EC との対応を捉えることが可能となる。結果の評価とその後の展開については 4.8.5 で示す。

4.8.5 流量と水質（電気伝導率）の結果の捉え方

結果から、4.6.3 で整理した EC の結果と重ねることで、河道縦断における EC 変動結果に基づく流動変動予測の検証が可能なる。EC の変化(高/低)と流量の変化(増/減)が対応していれば 4.6.5 で示した仮説のとおりである。明示的な水の流入が確認できない場合、非明示的な湧水の流入・伏流との水交換が考えられるため、必要に応じて 4.8.7 で示す追加・オプション調査における差圧マノメータ等を用いた確認を実施する。

しかし、ある短い区間で EC が(急)上昇しているものの、流量が変わらないといった結果の場合、流量は小さいが EC が極端に高い排水等の流入が疑われる。逆に EC が(急)降下しているものの、流量が変わらない場合は、取水や貯留、その他により水の連続性が断たれ、同等程度の流量の別の水に入れ替わっている可能性がある。現場に見落としがないか等、場合によっては再度現地調査をすることも考えられる。また EC に変化はないが、流量が増減している場合は、本手法による流量観測地点の絞り込みは難しく、これについては 4.6.5(1)で適用除外条件として示している。

以上に共通して、捉えられる傾向から予測される可能性と、その後の展開については次が挙げられる。

水質(EC)と同様に 1 回のみで評価をするのは危険である。時間的な変動傾向を捉えるためには、4.8.6 で示す繰り返しの調査が必要である。また非明示的な湧水の集中区間であることを確認する場合は、4.8.7 で示す追加・オプション調査における差圧マノメータによる調査が必要である。

4.8.6 繰り返しの調査(2)

4.6.6 で示したとおり、1 回のみで断定することは危険である。そのため、可能な範囲で季節や流況ごとに調査を継続し、EC 測定値の傾向(変動幅)を確かめると良い。河川水が農業利用されている場合は特に注意が必要である。これには手間を要するためデータロガー(水位)と H-Q 式(水位流量曲線)による流量換算とを利用す

る方法もある。ただし、H-Q 式が与えられていない場合は、流況別に複数回観測を実施し作成する必要がある。

4.8.7 追加・オプション的調査

4.6.7 で示したとおり、既報¹⁾に示した手法(3.5 に掲載)による高密度な EC と流量の組み合わせにより、ある短い区間において横流入する湧水の集中が捉えられた場合、確認のための現地調査として、差圧マノメータ²⁾等を利用した調査が考えられる。

4.8.8 EC と流量データを用いた横流入水の EC と量との推定

本川・支川(流入水)間の水質(EC)差がある場合、2.5.4(8)で示した EC(溶存イオン)の保存性を利用し横流入する流量と水質の推定が可能である。河道において本川上下流 2 地点と当該区間に横流入する主な支川地点の流量と EC を測定し、それぞれの「加重水質($Q \times C$)」を計算する。その上で本川下流地点の実測値に対し、本川上流地点と主な支川地点の合計(計算)値を比較し、差分がある場合は横流入水として扱い、流量と水質を推定できる。

4.9 本スキームの優位性

このような実態としての流域の水収支を捉えるためには、通常流量観測に走りがちだが、時間コストが高く効率的な調査は望めない。観測が容易で高密度化が可能な EC 等の水質情報と、そこから観測地点を絞り込んだ流量情報を組み合わせることが本手法の特徴であり、より早く効率的に概況を捉えられるという点で優位である。

4.10 本章のまとめ

本章でのまとめ及び成果として、次の点が挙げられる。第一に EC を用いた情報が不足した河川・流域の導入的調査スキームとして 3 つのフェーズに分け具合的な調査手法として整理し提案としてまとめた。第二にオプションとしての流量観測による検証、また EC と流量を組み合わせた高度な利用法についても示した。第三に本スキームの優位性についても考察した。

4.11 参考文献(第 4 章)

- 1) 吉川慎平, 鷺見哲也:湧水環境依存種の生息場回復に向けた河道縦断における湧水ポテンシャル分布の評価手法, 土木学会水工学委員会河川部会 河川技術論文集 Vol. 24 p355~360, 2018.
- 2) 山下理代, 鷺見哲也:差圧マノメータを使った牧田川山地区間における水交換現象に関する研究, 土木学会第 65 回年次学術講演会概要集, 2010.

4.12 関連発表・論文

(1) 関連発表

- [1]. 吉川慎平, 鷺見哲也:湧水環境依存種の生息場回復に向けた河道縦断における湧水ポテンシャル分布の評価手法, 土木学会水工学委員会河川部会 2018 年度河川技術に関するシンポジウム, 2018.

(2) 関連論文

- [1]. 吉川慎平, 鷺見哲也:湧水環境依存種の生息場回復に向けた河道縦断における湧水ポテンシャル分布の評価手法, 土木学会水工学委員会河川部会 河川技術論文集 Vol. 24 pp.355~360, 2018.

第5章 電気伝導率測定値の評価に資する全国版データベースの整備検討

5.1 本章の目的

本章では、第一に2, 3, 4章での各種検討からその必要性について提示した、EC測定値の相対評価に資する全国的なECデータベースの整備について具体的に構想する。第二にデータベースに収録しうるECデータとして、公共用水域の水質測定結果を対象に検討する。第三にデータベースを更に充実するための任意地点におけるECの現地調査実施の可能性について検討する。

5.2 電気伝導率測定値データベース（仮）の必要性

2章ではECの評価に関して、溶存イオンの多少と水質の「良し悪し」は単純に対応しないこと、河川・流域特有のバックグラウンドやソースの影響から、相対評価が基本になることを示した。また各種測定値の「目安」は示されているものの、地域(空間)的な評価に資する参考データが不足している点からECデータベースの必要性を挙げた。

3章では複数の現場におけるECデータを収集・蓄積した結果について示した。しかし測定値のトレンドについて、全国、地方、地域的な位置づけや、各現場間の比較において、ECのトレンドに関する参考データが不足している点、特に普段ECを利用していない人に対して説明する場合は、全国的な環境水におけるECの傾向(トレンド)や、他水系との比較を合わせて提示する必要があるという点からECデータベースの必要性を挙げた。

4章では提示した「情報不足な河川・流域の導入的調査スキーム」において、調査の事前・事後に既存水文・水質データの収集・参照プロセスを設定した。そこで想定される参照先の一つとして、ECデータベースの必要性を挙げた。

以上の点を受け、本章ではEC測定値の相対評価に資する全国的なECデータベースの整備について具体的に構想する。

5.3 電気伝導率の全国版データベースのイメージ（構想）

5.3.1 既存の水質関係データベース

既存の全国的な水質関係データベースとして、環境水に関しては国土交通省の「水文水質データベース¹⁾」、環境省の「水環境総合情報サイト²⁾」、全国ではないが独立行政法人水資源機構の「水質年報³⁾」がある。水道水に関しては公益社団法人日本水道協会の「水道水質データベース⁴⁾」がある。いずれもWebからアクセスが可能である。かつては国土交通省関係の観測データを収録した『日本河川水質年鑑』が紙媒体・CD-ROMで発行されていたが2008年版を最後に休刊となっている。現在は上記のようなWebからアクセスできるデータベースが主流である。

データベースの整備検討に先立ち、上記を含む既存の水質関係データベースについて、本検討における目的に合致、或いは類するものがないか上記サイトを中心に検討した。その結果全国的な網羅性、一覧性等の点からWeb GIS(Webブラウザ等から操作が可能な形態)を用いた環境省の「水環境総合情報サイト²⁾」が機能面等で参考になると考えられた。



図 5-1 水環境総合情報サイトの画面(BOD 値表示例)

5.3.2 データベースの具体的なイメージ（構想）

EC の全国版データベースのイメージについて、機能面、対象範囲面で具体的に構想する。

機能面では Web からのアクセスを前提とし、収録されたデータのマッピングとアウトプット(ダウンロード)機能を基本とする。マッピングは Web GIS を利用し、水質測定データと各種背景地図のオーバーレイを可能とし、各測定地点を選択すると、属性情報として統計値並びに経年変化を含む時間変化がグラフ等で示されると良い。イメージを図 5-2 に示す。

対象範囲面では少なくとも公共用水域の水質測定地点全てが網羅されていることが望ましいが、これについてはデータの存在・不存在により制約を受ける。詳しくは 6.2.3 で示す。

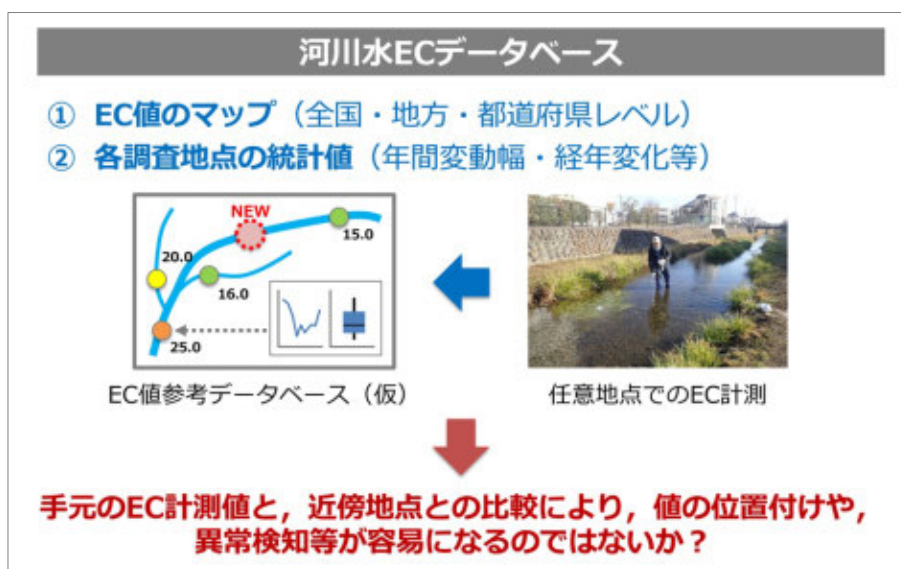


図 5-2 河川水 EC データベースのイメージ(構想)

5.3.3 環境省「水環境総合情報サイト」拡充への期待と現状

5.3.1 における調査・検討から、他の水質項目との相互性の点から EC 単独でのデータベース化は適当でないと考えられた。また新規に立ち上げるよりも、環境省の「水環境総合情報サイト²」が 5.3.2 で挙げた機能をほぼ実装しており、これを拡充することが理想と考える。一方、6.2.1 で詳しく示すが、同サイトは全国の公共用水域の水

質測定結果が収録されているものの、現状では主要項目のみで EC が含まれていないのが現状であり、同サイトで今回の目的を達成することが不可能である。

5.4 データベースの整備により期待される効果

5.4.1 必要性として挙げられた点の解決

5.2 に必要性として挙げた点に資することが期待される他、これまで困難であった測定値のスケーリングやカテゴライズが進展する可能性がある。スケーリング(レベル)としては、実測データによる全国や地方、都道府県別の EC 統計値の算出によるトレンドの分析、カテゴライズとしては山間部、平野部、感潮域のトレンドの分析などが考えられる。また共通して EC(溶存イオン)と地質や土地利用等、他のデータとの相互性を検討する上での情報が得られる可能性もある。

以下では 4 章の調査スキームに沿って期待される効果について段階的に示す。

5.4.2 調査対象フィールド周辺の(事前的)情報の獲得

事前に調査対象とする河川・流域並びに周辺地域の EC 測定値をマップ等から簡単に参照できることで、調査内容(規模・範囲等)を具体的に検討することの補助となる。

5.4.3 調査対象フィールドから得られた測定値の全国・地方・地域的な位置付けの確認

調査実施後、得られた測定値について調査対象河川・流域並びに周辺地域の既存の EC 測定値と比較することで、測定値の相対的評価が可能になる。地域的なトレンドに合った傾向か、特異な傾向かにより、次の調査計画を検討することの補助となる。

5.4.4 マルチスケールでの測定値のレベル・トレンド(バックグラウンド)の可視化

5.4.2 と同時に、地方、全国といったスケールでの比較が可能になることで、得られた測定値のレベル的位置付けや、同様のトレンドを有する他の河川・流域の発見が可能になることで、比較対象地の設定を検討することの補助となる。

5.4.5 環境水の調査指標としての電気伝導率の活用・普及の促進とデータの蓄積

参考データとしてのデータベースが整備されていることで、水質指標として EC を積極的に用いていなかった人やこれから用いようとする人の補助となる可能性がある。特に学校・市民活動レベルにも資するのではないかと考えた。長期的にはこれにより EC の活用が促進され、データの蓄積や、水質項目として標準化されていくことが期待される。

5.5 コアデータとしての「公共用水域の水質測定結果」への注目

5.5.1 データベースへの収録(収集)とコアデータの検討

データベース整備の検討に先立ち、原則として公開(オープンデータ化)されている水質測定結果を参照し、EC データの有無についてスクリーニング的調査を実施した。その結果、網羅性という点からコアになるデータとして、全国の都道府県により取りまとめられている「公共用水域の水質測定結果」に注目することとした。具体的には 5.5.2 で示す。その他のデータベースについては 5.5.4 で示す。

5.5.2 公共用水域の水質測定とは

「公共用水域の水質測定」とは、水質汚濁防止法(以下、水濁法)の規定に基づき、1971 年から水質汚濁に関わる環境基準が定められている項目を中心に、水質汚濁防止法政令市、都道府県、国土交通省、独立行政法人水資源機構(一部)により実施されている⁵⁾。

公共用水域の水質測定結果は都道府県単位で取りまとめられており、各都道府県が年度ごとに測定計画の策定からデータの公表までを担っている。最終的な総括は環境省の所管となっている。水濁法の規定に基づき、

データは原則として公開(オープンデータ)となっている。公表は当該年度が終了した年の 12 月から翌年 1 月頃だが、都道府県によって対応が異なる。また一部では「速報」として月単位で公表しているケースもある。

またデータを取り扱う上での特徴として、調査は基本的に各月、各季節の定常状態に近いタイミング(降雨の影響を排除)を選んで実施されている。それ故にある意味フィルタリングされたデータといえる点を挙げておく。

5.5.3 公共用水域の水質測定結果の活用

公共用水域の水質測定結果は全国的な環境水の水質測定結果がまとめられた公共性・継続性・信頼性の高い基盤データであり、本検討におけるコアデータとして活用することとした。2.6.1 で示したとおり、EC は水質基準化されていないが、公共用水域の水質測定における「その他の項目」として用いられていることが予備調査からわかった。具体的には 6 章で示す。

5.5.4 その他のデータ

その他に環境水の EC が収録されている公共性・継続性・信頼性の高いデータベースとして大きく二つが挙げられる。

一つは国土交通省による水文水質データベースが想定される。予備調査から EC が用いられていることが確認できたため検討対象とした。しかしながら河川についての定期調査結果の多くが公共用水域の水質測定結果に含まれている(重複している)ことがわかったため保留とした。

二つは水資源機構が事業範囲において測定したデータを取りまとめた「水質年報³⁾」が想定される。予備調査から EC が用いられていることが分かったため、エリアは関東・中部・関西・四国・九州に限定されるが検討対象とした。しかしながら調査地点の位置情報が得られないため保留とした。なお数箇所レベルではあるが、水質年報の結果が公共水域の水質測定結果に含まれている(重複している)ことが分かった。

5.6 任意地点での電気伝導率データの収集

コアデータの収録(収集)検討と平行して当初よりオープンデータ(コアデータ)のみでは、ローカルな水域(河川の上流域や中小河川、湧水等)の EC の傾向は捉えられないことが想定された。そのため、水質汚濁防止法政令市(公共用水域の水質測定結果に収録)以外の市町村における各種水質調査結果を参照することも想定されたが、膨大な作業量を要することから保留とした。

一方、3 章で示した調査において著者らが収集した EC データや、その他任意の地点の EC データについて、時間的な同時性は確保されない(数年程度の幅を持つ)が、大きな経年変化がないことを前提として、空間的補完のためデータベース(GIS マップ)にオーバーレイして標示することを想定した。また任意地点における調査として、著者により可能な限りの現地調査を実施することとした。具体的には 6 章で示す。

5.7 本章のまとめ

本章でのまとめ及び成果として、次の点が挙げられる。第一に EC 測定値の相対評価に資する全国的な EC データベースの整備の必要性についてのこれまでの議論の整理(2, 3, 4 章に関連)、既存の各種水質データベースのレビュー、その上で環境省の「水環境総合情報サイト」がシステムとして参考になることを示した。第二に本検討におけるデータベースのイメージ(仕様)を具体化したと同時に、整備により期待される効果(可能性)について展望した。第三にデータベースのコアデータとして注目した都道府県による「公共用水域の水質測定結果」についての解説を示した他、EC データが含まれるその他データについてもレビューした(6 章に関連)。第四に公共用水域のみではローカルなデータが不足することを想定し、データ不足域を空間的補完するための任意地点における現地調査の実施について示した(6 章に関連)。

5.8 参考文献(第 5 章)

- 1) 国土交通省:水文水質データベース, <http://www1.river.go.jp>, 2019/9 参照。
- 2) 環境省:水環境総合情報サイト, <https://water-pub.env.go.jp/water-pub/mizu-site/>, 2019/8/19 参照。

- 3) 独立行政法人水資源機構:水質年報(各年), [https://www. water. go. jp/honsya/honsya/torikumi/kankyo/suisitu/index. html](https://www.water.go.jp/honsya/honsya/torikumi/kankyo/suisitu/index.html), 2019/8/19 参照.
- 4) 公益社団法人日本水道協会:水道水質データベース, [http://www. jwwa. or. jp/mizu/](http://www.jwwa.or.jp/mizu/), 2019/8/19 参照.
- 5) 環境省水・大気環境局:平成 28 年度公共用水域水質測定結果, 2017, [https://www. env. go. jp/water/suiiki/](https://www.env.go.jp/water/suiiki/), 2019/8/19 参照.

第6章 全国 47 都道府県の公共用水域（河川・湖沼）の電気伝導率実態把握

6.1 本章の目的

本章では、第一に 5 章で構想した EC の全国版データベース整備に向けて、その試行版という位置づけで、データの収集・整理・可視化の実践により、EC データの存在・不存在を明らかにすることとした。なお本研究においては EC データの実態把握までを検討対象とし実装可能なデータベース制作までは実施しない。第二に空間的なデータ補完のための任意地点調査(参考)の結果について示す。第三に第一におけるデータベースの公開を含め、全国 47 都道府県の公共用水域(河川・湖沼)、その他における電気伝導率実態を捉えるための今後の課題についてまとめる。

6.2 全国の公共用水域（河川・湖沼）の水質測定結果データの収集による実態把握

6.2.1 調査対象と期間

電気伝導率(以下、EC)データの収集は、5.5 で示した「公共用水域水質測定(以下、本測定)」を調査対象とした。対象期間は、調査開始時に公表が完了していた 2016 年度(2016 年 4 月 1 日～2017 年 3 月 31 日)の 1 年間とした。

当初データの入手は、5.3 で示した環境省の「水環境総合情報サイト¹⁾」から統一されたフォーマットでのダウンロードが可能と想定されたが、仕様²⁾を確認した結果、生活環境項目(8 項目)、健康項目(27 項目)、全窒素・全燐(2 項目)のみの収録で、その他の項目である EC は含まれておらず、この時点で全国レベルでのデータベース化がされていないことが明らかとなった。そのため元データである 47 都道府県別の公共用水域の水質測定結果を参照することとなった。

6.2.2 調査方法

本調査では一律的なデータの入手が困難であることが明らかとなったため、膨大な工数を要することが想定された。そのため二段階に分けて実施することとし、第一段階では東海三県(愛知・岐阜・三重)と関東地方(茨城・栃木・群馬・埼玉・千葉・東京・神奈川)の 2 エリアをパイロットモデルとして先行的に調査し、一旦結果を概観し公表することとした。第二段階では、第一段階の結果を受けて確立した手法を基に、残りの道府県のデータを収集し、全国 47 都道府県の EC データを全て収集することとした。データの収集方法は、次のとおりである。

第一に、北海道から沖縄県まで全国 47 都道府県の公式 Web サイトにおける、本測定結果の公開(掲載)ページをそれぞれ検索し、データの公開状況を確認した。全ての都道府県で本測定に関するページが作成されており、そこから「個表」などと称される測定地点別、測定日(回)別のいわゆる「生データ」に近いデータをダウンロードした。記録フォーマットは都道府県ごとに異なり、ファイル形式も PDF、Excel、CSV(テキスト)、その他と様々な形で提供されていた。また個表が掲載されておらず「総括表」などと称される年間のデータを統計値で整理したもの、調査結果の概要のみのものなど、都道府県により公開状況にバラツキがあり、データの不足、その他不明点については、メールにより当該部局に提供依頼・問い合わせを実施した。提供依頼・問い合わせ作業は、第一段階では 2019 年 1 月に 1 件、第二段階では 2019 年 8 月に 25 件実施しそれぞれ回答を得た。

第二に、当初から調査結果について GIS(地理情報システム)を用いた空間的可視化を想定したため、測定地点の位置情報を必要とした。これについては 6.2.1 で示した環境省の「水環境総合情報サイト¹⁾」から、年度別の調査地点情報(座標、水域名、地点名、その他)を各種形式で都道府県別にダウンロードできるため利用した。今回は CSV 形式でダウンロードしたデータを Excel シート上で整理し、プラットフォームを作成した。

第三に、作成した Excel シート上で水域名・地点名をキーワードに、位置情報と本データの照合を実施した。個表に掲載された各地点の情報を参照し EC データの有無を確認の上、データがあるものは値を転記した。個表の多くは PDF 形式であること、また Excel 形式であっても処理に用いることができない装飾的表組みがされており、基本的に手入力で転記した。作業には一つの都道府県に半日～1 日程度を要した。EC データの有無の確認を含め、照合した件数(地点数)は全体で 6,371 件になった。

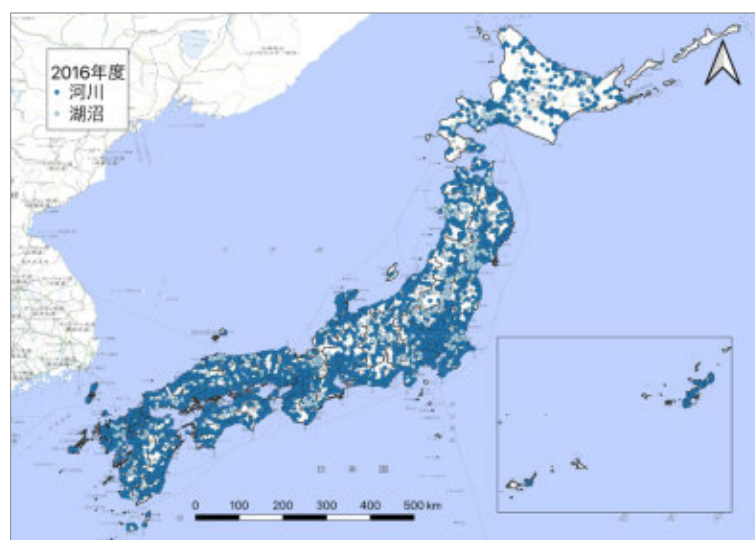


図 6-1 2016 年度 公共用水域水質測定地点(河川・湖沼)・全国

6.2.3 調査結果

以上の方法(データ処理)により, 測定地点の位置情報が付与された本測定結果における EC のデータセットを作成した. 同時に本測定における EC データの存在・不存在(測定の有無)が明らかとなった. 測定地点数並びに公開状況についての結果を表 6-1 に示す. また EC 測定地点についても, 年間の測定回数にバラツキがあることが明らかとなった. 詳しくは 6.3 で示す.

表 6-1 2016 年度における公共用水域水質測定地点数と EC データを公表している割合

地 方	調査地点(河川)	調査地点(湖沼)	調査地点[N]	EC測定地点[n]	割合(%) [n/N]	備 考
北 海 道	316	41	357	20	6%	データ数少
東 北	744	141	885	79	9%	"
関 東	882	95	977	660	68%	データ数多
中 部	964	70	1034	427	41%	
近 畿	709	73	782	329	42%	
中 国	678	72	750	163	22%	
四 国	330	11	341	50	15%	
九 州 沖 縄	1,188	57	1,245	413	33%	
合 計	5,811	560	6,371	2,141	34%	

6.3 全国版データベース整備に向けた課題・問題点

6.3.1 電気伝導率データの存在・不存在と地域的偏重

6.2.3 で示した調査結果から, 全国版データベース整備のコアとなる, 本測定における EC データの存在・不存在が初めて明らかとなった. 本測定における著者調べの全調査地点(公共用水域の内, 河川, 湖沼)6,371 箇所(図 6-1)中, 2,141 箇所(33.6%)で EC が測定されていることが分かった. 想定以上に多数のデータが存在するが, 都道府県ごとに見てみると, EC が 1 地点以上測定されている都道府県が 35, EC が測定されていない県が 12 という結果になった. このことから本測定結果のみでは全国的な網羅性を担保することが難しいことが分かった. (都道府県ごとの状況についての一覧を付帯資料 2 として巻末に添付).

空間的なデータの存在・不存在の傾向は 6.4.1 で詳しく示すが, 明確に読み取れる傾向はないものの, 関東・中部・近畿の大都市圏周辺では充実しているという地域的偏重が明らかになった. 6.2.2 で示した, 第一段階に

おけるパイロットモデルとして対象にした東海三県(愛知・岐阜・三重)と関東地方(茨城・栃木・群馬・埼玉・千葉・東京・神奈川)の2エリアは、茨城県を除きECデータが存在していたが、データが多数存在する地域と重なっていることがわかった。

6.3.2 測定回数等のバラツキ

ECが存在する地点についても、年間のデータ数にバラツキがあることがわかった。各地点の年間測定回数は12回(毎月)を基本に一日に2回(時間帯を変えて)の年24回、年6回(隔月)、年4回(四半期)等があり、中には1回のみ地点もある。

6.3.3 公共用水域水質測定結果公表における課題

本測定結果の公表においても、6.2.2の調査方法でも触れたとおり、ECデータの有無以前に都道府県ごとのバラツキ等、課題が明らかとなった。主な事項は以下のとおりである。ここでは結果の概要(報告書等)ではなく生のデータについて扱う。

(1) 都道府県による取りまとめと一連のフローについて

本測定の一連のフローは次のようになっている。まず全国47都道府県がエリアとしての都道府県内の公共用水域の水質測定についてイニシアチブを取り、年度単位で関係機関(国土交通省、水資源機構、都道府県、水質汚濁防止政令市)と測定地点等について調整し、測定計画として取りまとめている。当該年度に入ると関係機関が実施機関(公立の研究所、民間分析会社等)に委託する等により測定計画に基づき調査を実施し、結果を都道府県に報告する。都道府県は測定データを取りまとめ評価し公表することになる。

(2) データの公表における課題

データについては原則として全て公表される。公開の方法として紙ベース(公共施設等への備え付け等)と現在ではインターネット(都道府県Webサイト)が主流である。しかしその公開範囲は都道府県によってバラツキがあることがわかった。

公開範囲は、情報的範囲、時間的範囲に分けられる。情報的範囲では、全ての測定項目が網羅的に公開されているかがある。BODやSS等の代表的な汚濁指標のみの限定的公開、更にはグラフ等で値が示されていないケースが挙げられる。時間的範囲では、2つのスケールがあり、マクロ的には最新(最新データの公開は1年程度の時間遅れがある)から過去まで遡ってデータが公表されているか、ミクロ的には各年度の内訳として、測定日(回)別のデータが公表されているかがある。直近のデータしか公開されていないケース、統計値(最大値、平均値、最小値等)等に加工されたデータとなっているケースが挙げられる。

調査・研究での利用を前提にすると「個票」などと称される測定日(回)別の、ほとんど生データが全て公表されていることが望ましい。またWeb上で公開されていなくとも、担当部局に問い合わせることで入手できる場合がある。一部では都道府県に対する「情報公開請求」の申請が必要というケースもあった。

(3) 公表の形式について

個票が電子データで公開されているケースでも、ファイル形式はCSV形式、Excel形式、PDF形式等のバラツキがある。環境省の「水環境総合情報サイト¹⁾」から一括でダウンロードできない項目については、各都道府県の個票を参照しなければならないが、フォーマットの違いにより自動処理的な取り扱いが困難である。

(4) データの品質(EC)について

データの測定精度的には専門機関に委託されている場合が多く、測定値そのものの信頼性は高いと考えられる。しかしながら、ECについては取りまとめ過程に起因するとみられる品質の揺らぎが散見される。ECについては2.3.2でも示したとおり、単位の混乱が生じており、ECの単位は通常SI単位系のmS/mが用いられるが、 μ S/cmが今も使われており、個票においても μ S/cmを用いているケースもある。一律であれば単位変換は容易なため問題はないが、明らかに異常値(誤表記)と見られる値が複数の都道府県で確認された。例えばmS/mが用いられた個表において、数万オーダーの値が出ている(ほとんどが海域、単位が μ S/cmのまま)、逆に μ

S/cm が用いられた個表において、10 以下の値が出ている(mS/m に換算すると蒸留水レベル、単位が mS/cm のまま)などがある。一方中間的な値の判定は難しいが、本検討においては実施機関の情報から高値、低値で誤表記が見られた機関について同様に修正を加えた。これらは表 2-2 の EC の目安を参照すると異常値であることがすぐに分かる。

このような誤表記は単位系が複数存在することが根本問題としてあるが、関係機関によって用いる単位が異なっていることに起因するエラーと見られ、関係機関から都道府県への報告の際、都道府県が指定する単位に変換せずに報告し、都道府県も精査せずに掲載(公開)しているのではないかと推測される。本検討において発見された点については当該部局に指摘した。またこうしたエラーが発見されにくい理由として、EC が水質基準として利用されていないことも考えられる。

(5) 課題解決の方向性

水質データは水文データと異なり、項目が多岐に渡っていること等、取りまとめの役割を担う都道府県の現場レベルでは、大変な苦労があると推察され、データの公表については様々な工夫が見られる都道府県もあり敬意を表するところである。全国的な公開範囲やフォーマットの統一は、総取りまとめである環境省がイニシアチブを取り、公開方法等の指針を示すべきであり、同時に既存の環境省の「水環境総合情報サイト¹⁾」の拡充が期待される。

なお水文情報については河川情報センター等のデータのメンテナンスや公開を行う機関が存在し、ガバナンスとして国側が取りまとめる体制が整備されている。公共用水域における水質監視の一義的な役割は都道府県が担うものとしても、流域総合管理における流域情報管理化において、水質測定結果等の情報について水文情報等と合わせて一元的に維持・管理される体制の整備が望ましい。その意味では、既存の「水文水質データベース³⁾」の拡充が期待される。

6.4 公共用水域（河川・湖沼）の水質測定結果にみる電気伝導率の実態

6.4.1 GIS（地理情報システム）を用いた空間的可視化

6.2 で得られた本データにおける EC データセットから、測定地点の空間的な分布傾向を分析するため、GIS（地理情報システム）を用いて、空間的に可視化することを試みた。GIS はフリーソフトの QGIS を用いた。全国的な概況を図 6-2 に、中日本の拡大を図 6-2 に示す。

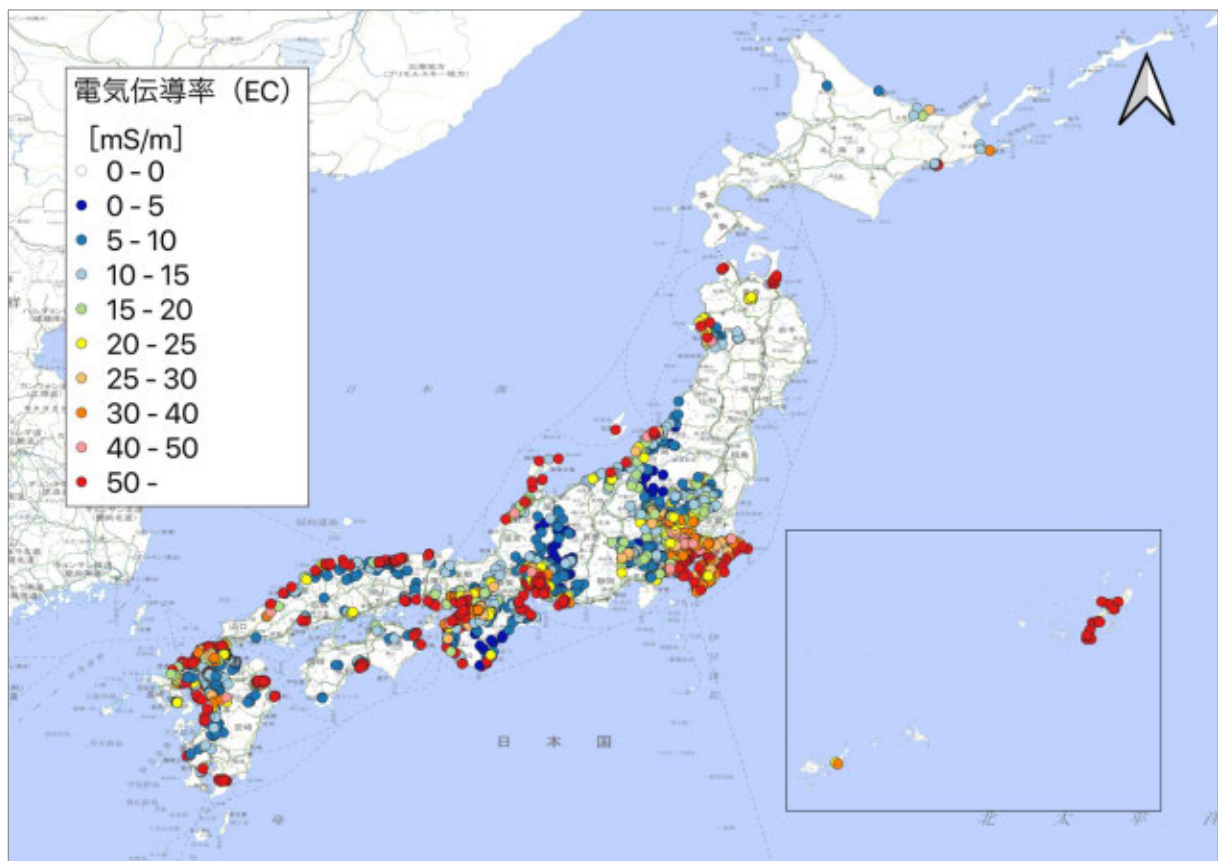


図 6-2 2016 年度 公共用水域水質測定による EC 年中央値・全国

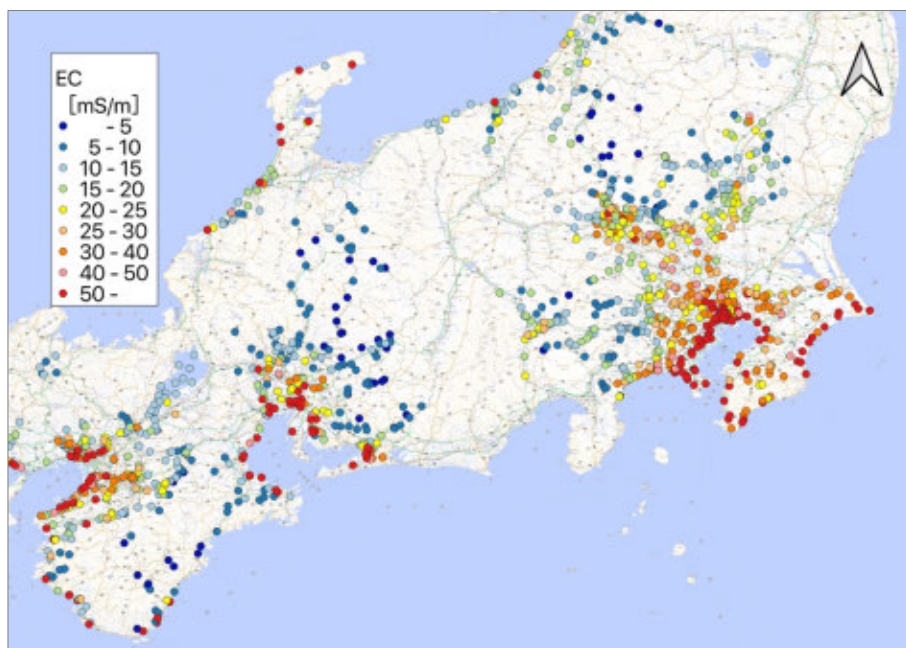


図 6-3 公共用水域水質測定による EC の傾向・中日本拡大(2016 年度)

全国的な EC データの存在と空間分布の傾向として、東京・名古屋・大阪並びに福岡の大都市圏でデータが密，地方部で粗な傾向が伺える。東日本の北海道・東北地方，中部地方の東側で特にデータが不足している。

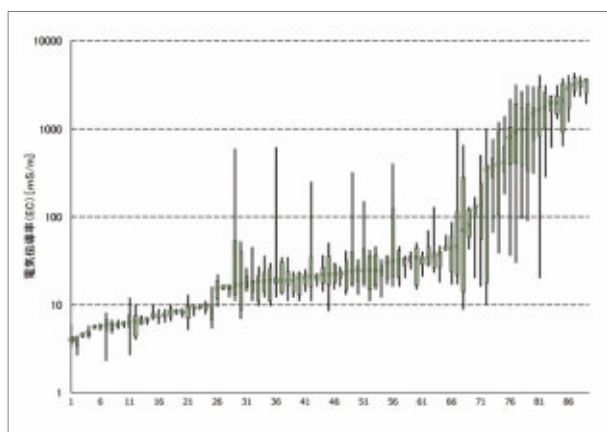
6.4.2 統計値の算出とボックスプロット（箱ひげ図）による傾向の分析

6.2 で得られた本データにおける EC データセットから、測定地点ごとの変動幅を分析するため、統計値（最小値、25%値、中央値、75%値、最大値）を算出した。また本検討では、代表値として中央値（ここでは 2016 年度データにおける）を採用し 6.4.1 における値もこれを用いた。

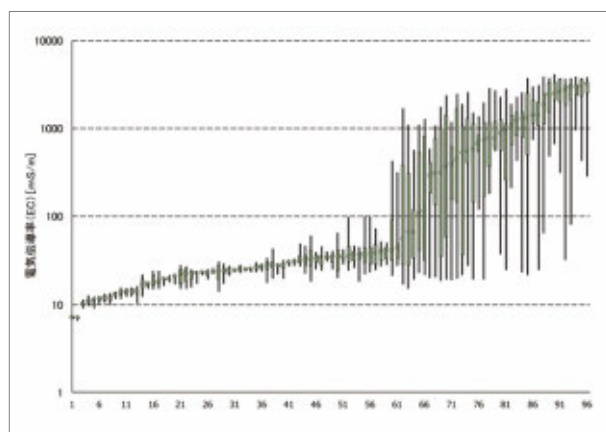
これらの統計値を利用して、都道府県単位でボックスプロット（箱ひげ図）を作成した。各地点の並び順は中央値順とした。比較のため中部地方の愛知県と岐阜県、関東地方の東京都と埼玉県の結果を図 6-4 に示す。また対応する GIS によるマップを図 6-5（愛知県・岐阜県）と図 6-6（東京都・埼玉県）に示す。

傾向としてエリア（都道府県）内の沿岸域の有無で全体のレンジは大きく異なる。感潮域の値は極端に高く、また塩淡水境界部は変動幅が大きい。中部地方では 10mS/m 以下の低値も確認されたが、関東地方ではほとんど確認されなかった。これは「バックグラウンド」による差と考えられる。

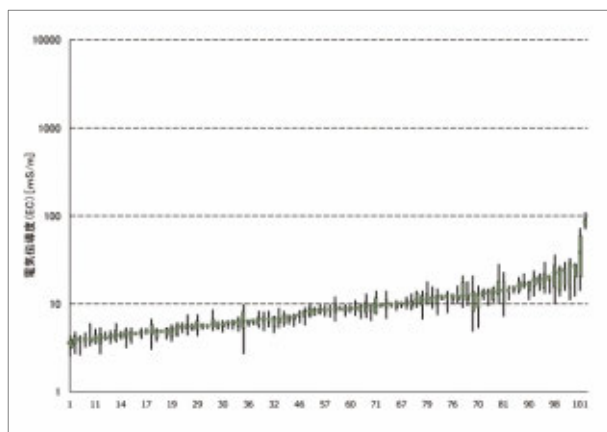
以上から変動幅の分布は大まかに 3 点にカテゴライズできる（閾値は中央値ベースかつ目安）。①10mS/m 以下の低値（河川の最上流域）、②10～50mS/m 程度の中間値（淡水の河川・湖沼等）、③50mS/m 以上の高値（潮水が混入する沿岸域の河川・湖沼、無機系汚濁した河川・湖沼）。これに照らすと、中部地方で沿岸域を有する愛知県では、①②③のカテゴリが見えているが、沿岸域の無い岐阜県では③のカテゴリはほとんど無い。一方関東地方で沿岸域を有する東京都は先に示したとおり、①のカテゴリが無く、②と③のカテゴリが見えているが、沿岸域の無い埼玉県ではほとんどが②のカテゴリ（一部③のカテゴリが見えている）という状況であり、EC 測定値の地域差が明瞭であることが分かった。



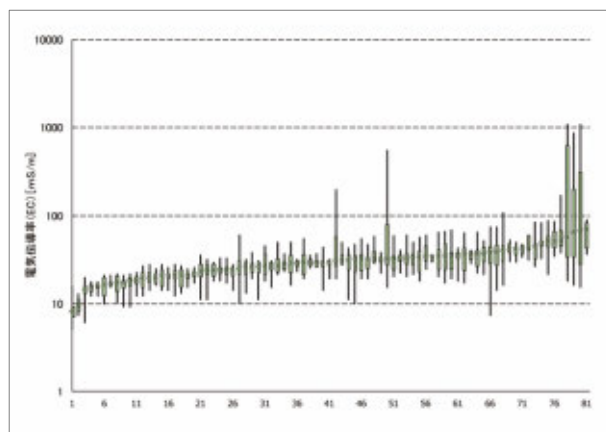
①愛知県 n=83 (中央値 4~3,550mS/m)



②東京都 n=96 (中央値 7~3,190mS/m)



③岐阜県 n=105 (中央値 4~79mS/m)



④埼玉県 n=81 (中央値 8~69mS/m)

図 6-4 測定地点別の年間変動幅（中央値順）

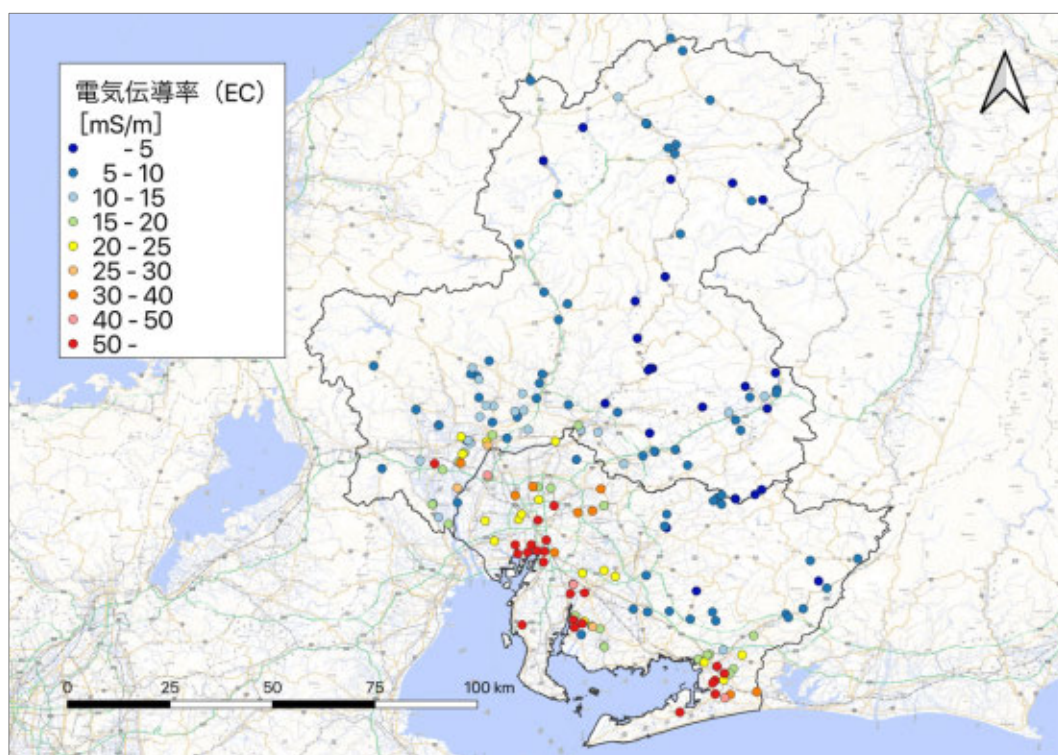


図 6-5 愛知県・岐阜県における測定地点の分布と EC 中央値 (2016 年度)

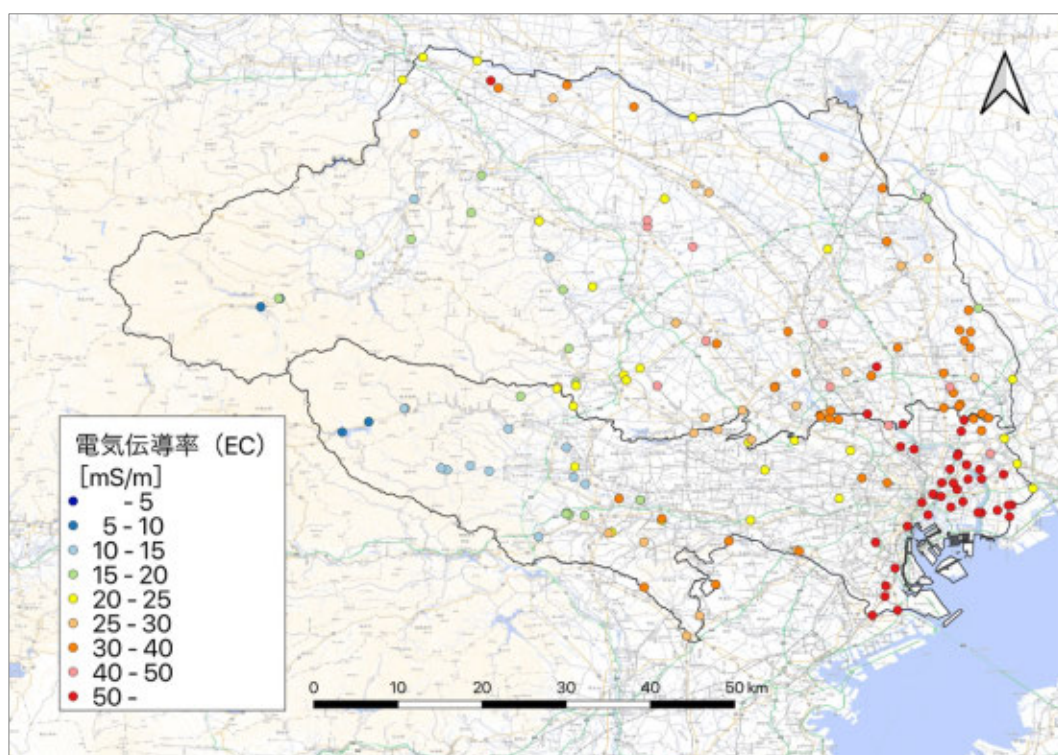


図 6-6 東京都・埼玉県における測定地点の分布と EC 中央値 (2016 年度)

6.4.3 まとめと今後の課題

今回対象にした公共用水域の水質測定データでは、全国を網羅することは適わなかったが、データが存在する地域については、測定地点の空間分布と測定値の傾向について初めて概観することを可能にした。

今後の課題として、第一に EC が測定されていない 12 県におけるデータの補完が挙げられる。方法としては、市町村レベルの水質測定データの収集、時間的な同時性は担保されないが、既往報告の参照及び、6.5 で示

す任意地点調査の逐次実施が考えられる。しかし長期的には都道府県による公共用水域の水質測定において、EC が定期的に測定されることが望ましいと考える。

第二に今回は最新年(2016 年度)のデータを用いたが、各地点の経年変化の検討が挙げられる。方法として今回と同様の方法による過去のデータ収集が挙げられるが、記録フォーマットが統一されていないことなどから膨大な工数を要する。環境省の「水環境総合情報サイト²⁾」への収録など、データが処理されていることが望ましい。

6.4.4 成果の公表とリアクション

以上で得られた結果については 2020 年 1 月現在、計 4 回の発表を実施した。詳細は 6.11 のリストに掲載した。リアクションとして、河川水辺の国勢調査等のデータとの関係、水質形成要因との関係等への関心の他、データベース公表の要望が複数示され、一定の需要があることが伺えた。

6.5 空間的補完のための任意地点調査による実態把握

6.5.1 調査対象と期間

5.6 で示したとおり任意地点において可能な限りの現地調査を実施することとした。目的を限定せず様々な水の EC のトレンド(空間的、時間的要素を含む)を捉えることとした。

調査対象は全国各地の様々な「水」とし、便宜上次の三つにカテゴライズした。①環境水:河川水(湖沼、池沼)、地下水(井水)・湧水、海水、排水。②水道水、③その他(雨水、市販飲料水、温泉水等)。本研究では、主に①についての結果を示す。

調査期間は 2016 年 4 月から 2019 年 12 月の 3 年 9 ヶ月間である。EC データベースとの時間的な同時性は 2016 年度中については確保されるが、本調査は基本的に 1 地点 1 回のみのため全データを「参考値」として扱う。なお 2 回以上測定した地点は「広域定点(複数回測定)」とし、本稿では基本的に最新データを用いる。

6.5.2 調査方法

調査期間中に著者が立ち寄り先で随時測定を実施した。調査項目と機材は、東亜ディーケーケー社製のポータブル電気伝導率・pH 計 WM-32E, MM-42DP を用いて EC の他、水温、NaCl, pH, ORP を測定した。また HORIBA 社製のコンパクト(各種)イオンメータ LAQUA twin で Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , NO_3^- を測定した。EC 計は補助として、HORIBA 社製のコンパクト電気伝導率計 LAQUA twin, その他も用いた。また現場で特異な EC が検出された水は一部サンプリングを実施した。サンプルは $0.45\ \mu\text{m}$ のシリンジフィルターにより濾過しストックした。その他に現地の気温測定、現地状況の撮影等を実施した。採水地点の位置情報は Google Map 及び GPS (Garmin 社製 GPSMAP 62SJ)を用いて特定・取得した。測定データは調査終了後 Excel シート上に転記し、位置情報付きのデータセットとして整備した。

なお、本稿では主題である EC の結果のみ取り扱う。

6.5.3 調査結果

対象期間において、環境水は 1,124 地点 1,267 データを収集した(2020 年 1 月現在)。範囲は主に中部～関東の中日本地域が中心となった。本稿では EC の結果のみを 6.6 で示す。

6.6 任意地点調査結果にみる電気伝導率の実態

6.6.1 GIS(地理情報システム)を用いた空間的可視化

6.5 で任意地点調査から得られたデータセットから、測定地点並びに値の空間的な分布傾向を分析するため、GIS(地理情報システム)を用いて、空間的に可視化することを試みた。GIS はフリーソフトの QGIS を用いた。全国的な概況を図 6-7 に示す。また図 6-8, 6-9 には公共用水域水質測定と任意地点調査の両方の結果を表示した。

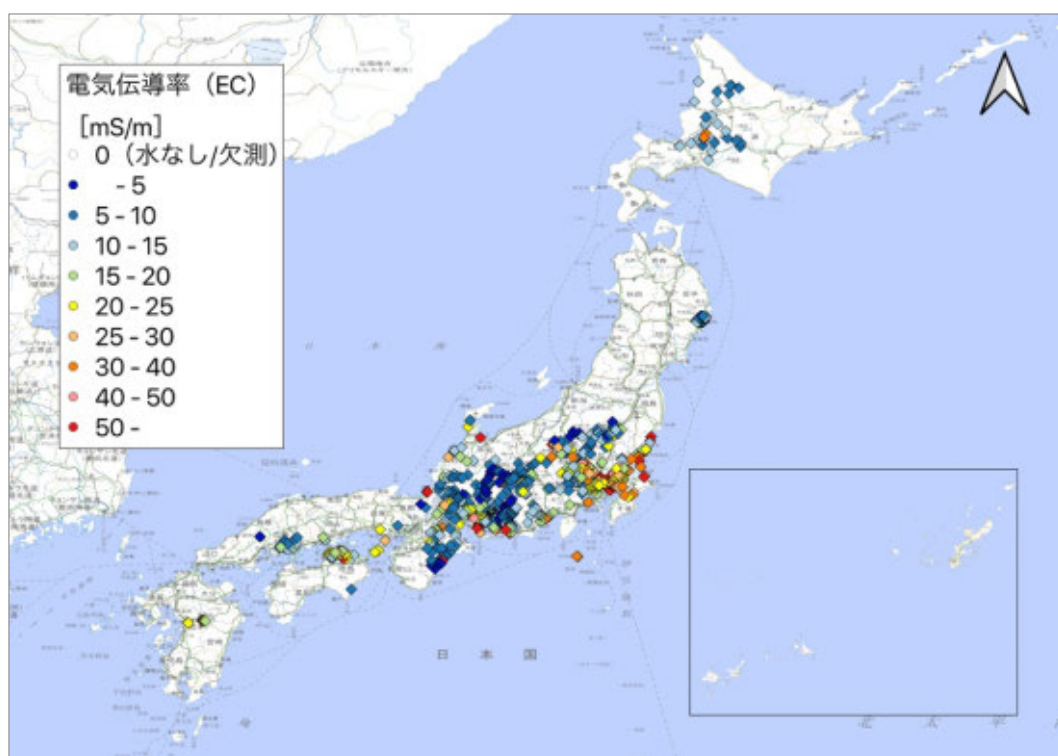


図 6-7 任意地点調査における測定地点と EC・全国

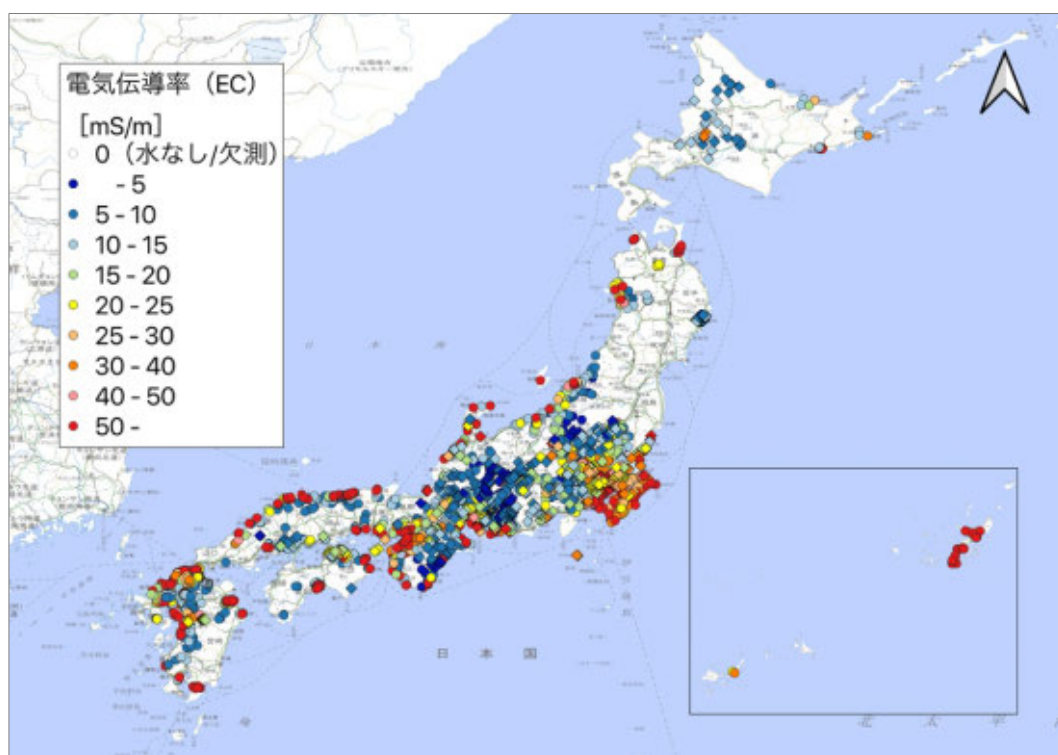


図 6-8 2016 年度公共用水域水質測定・任意地点調査による EC の傾向・全国

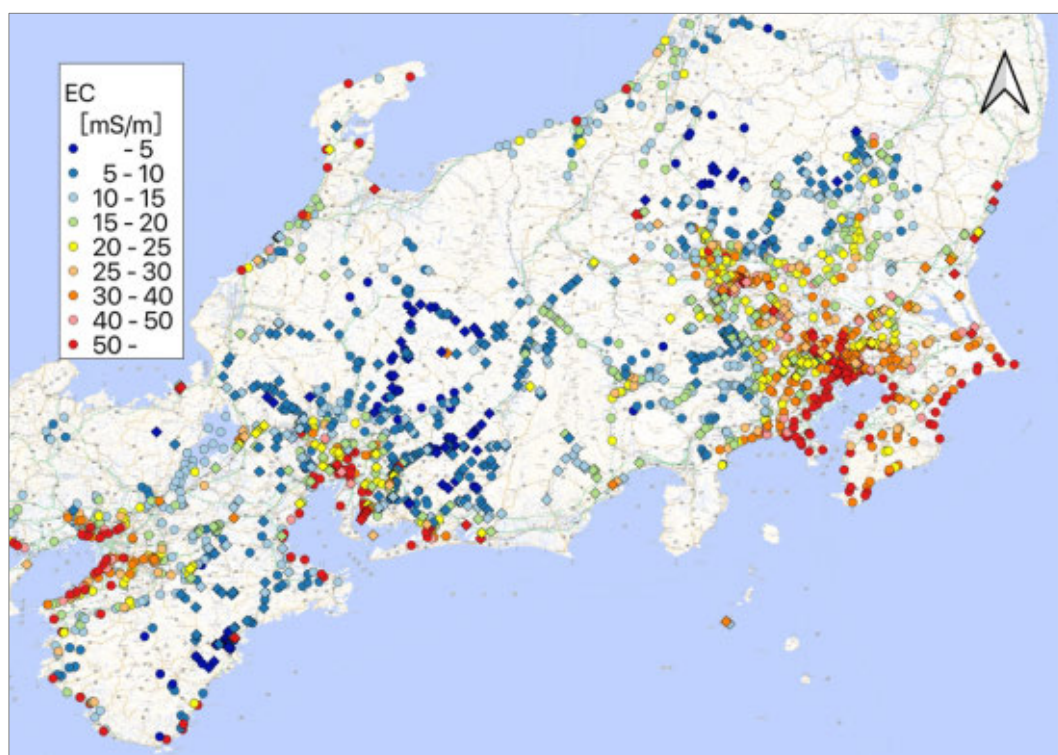


図 6-9 2016 年度公共用水域水質測定・任意地点調査による EC の傾向・中日本

6.6.2 特徴的な測定値の検知

現在までの任意地点調査の範囲から、測定値の高低という点において特徴的な現場(河川・流域)を複数検知することができた。任意地点調査の成果(事例)として、代表的な 2 地域とその他地域の 3 つに分けて示す。

(1) 高・電気伝導率傾向にある流域例の検出と追跡調査：小山川水系河川(埼玉県)

埼玉県北部の小山川流域周辺では、現在までの調査範囲に限った事例として、感潮域を除いて比較的高い EC 値が得られた河川・流域の一つである。小山川は埼玉県管理の利根川水系の一級河川で、全長 36.4km、流域面積 204.1km²を有する。流域内数箇所でも EC を測定したところ高値が確認されたため追跡調査によりデータを収集した。その結果を図 6-10 に示す。

小山川は上流部の山地区間が古生代の秩父北帯古生層や御荷鉾緑色岩類、三波川変成岩類が分布⁴⁾しており、周辺と比べれば特異的な地質が見られるが、現時点では河川水 EC との因果関係は未知である。また簡易イオン分析(4 項目のみ)の結果においては、Ca²⁺が相対的(これまでの任意地点調査範囲において)に高い傾向にあった。

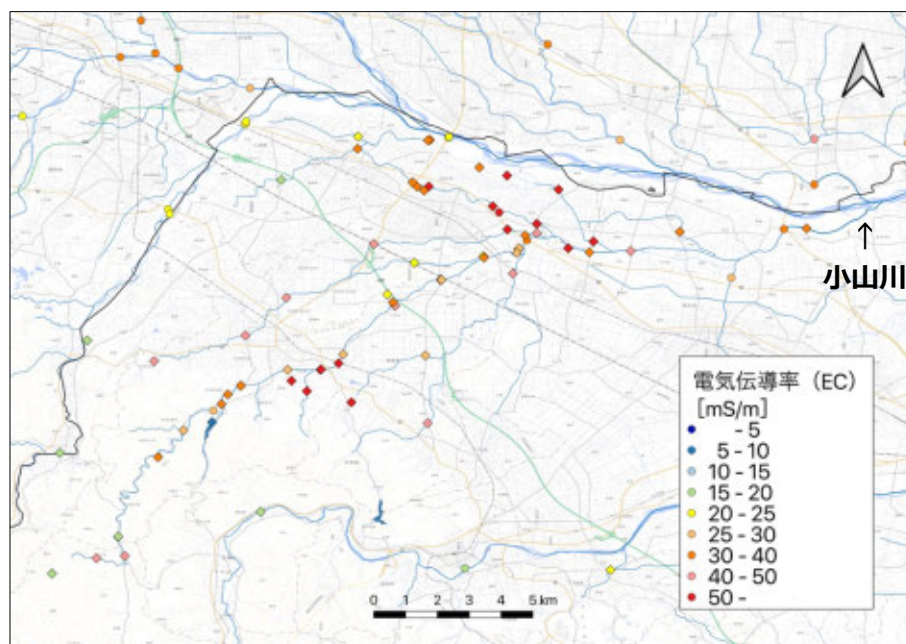


図 6-10 小山川流域周辺で測定された EC 値

(2) 低・電気伝導率傾向にある流域例の検出と追跡調査: 銚子川水系河川(三重県)

三重県の銚子川流域周辺では、現在までの調査範囲に限った事例として、比較的低い EC 値が得られた河川・流域の一つである。銚子川は熊野灘(太平洋)に直接注ぐ三重県管理の二級河川で、全長 17km、流域面積(調査中)km²を有する。流域内数箇所で EC を測定したところ低値が確認されたため追跡調査によりデータを収集した。その結果を図 6-11 に示す。

銚子川は透明度の高さで近年にマスメディアにも注目されており、近刊の文献⁵⁾では「(清流は)花崗岩などの岩盤の地質に起因するろ過作用」といった解説もあるが、河川水が低 EC であることは、多雨地帯であることとの関係なども考えられ、現時点では河川水 EC との因果関係は未知である。

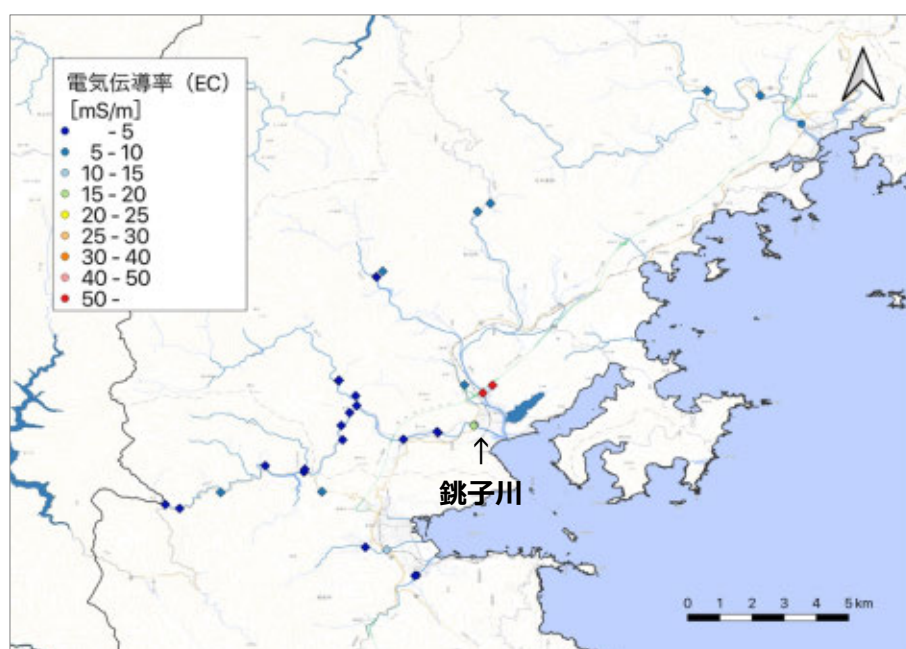


図 6-11 銚子川流域周辺で測定された EC 値

(3) その他の特徴的な測定値検知例

現在までの調査範囲に限ると、その他に低 EC 傾向にある河川として、3章で示した矢作川水系、利根川水系利根川・片品川源流域、木曽川水系飛騨川、木曽川水系揖斐川上流の旧春日村(現揖斐川町)周辺、那珂川水系那珂川上流の深山ダム付近、熊野川水系の北山川、大又川などで 5mS/m 以下の低値を検知した。

高 EC 傾向にある河川(感潮域を除く)として、群馬県の利根川水系吾妻川上流、茨城県の泉が森湧水などで 40mS/m 以上の高値を検知した。

6.6.3 公共用水域水質測定結果(年間変動幅)との対応

任意地点における EC の測定は、原則 1 地点 1 回のみである。そのため年間 12 回(月 1 回)程度測定している公共用水域水質測定により得られた年間変動幅に対して、1 回のみの結果がどのようにポジショニングするのかを確認することとした。これまでの調査結果からたまたま同地点で測定を実施していた 11 点を抽出し、ボックスプロット上に重ねた結果が図 6-12 である。なお時間的な同時性はない。2016 年度中の公共用水域水質測定結果に対して、任意地点調査結果は、2016 年 4 月～2019 年 12 月の範囲にある。

結果として全体のトレンドは一致する傾向がみられた。これは公共用水域水質測定が、降雨時等を避け極力定常状態とみなせる状況下での調査実施を基本としていることも後押ししていると考えられる(任意地点調査も基本的に同様)。一方で低値を示す河川の上流部(岐阜県、白川)においては、そもそも年間変動幅が小さく、任意地点における測定結果もこの範囲の中央値付近に収まった。このことから、感潮域等の変動幅が大きい地点を除き、特に河川の上流部等、変動幅が小さいと考えられる地点においては、定常状態であれば 1 回のみの測定もある程度有効な結果として扱える可能性が示唆された。

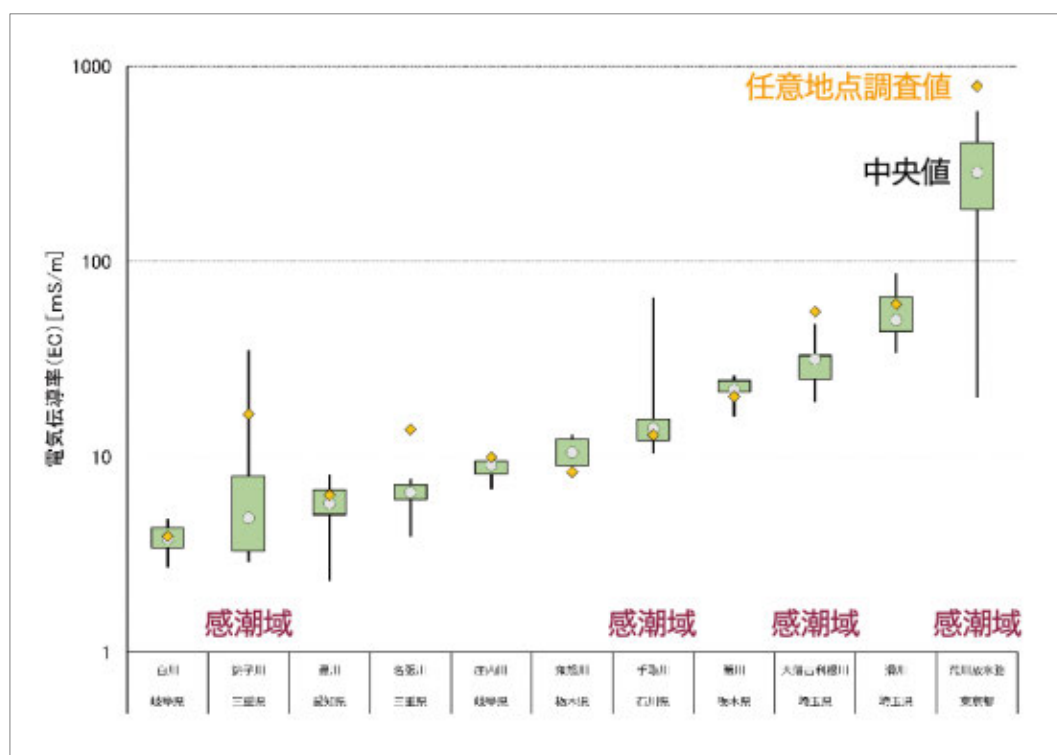


図 6-12 公共用水域水質測定結果(年間変動幅)との対応(代表地点)

6.6.4 まとめと今後の課題

6.6.3 で示したとおり任意地点調査は、公共用水域水質測定結果の空間的補完に加え、同測定結果の値の妥当性(同一性)のセルフチェック的な意味でも有効な調査と考える。また空間解像度という点で公共用水域水質測定ではカバーできていない範囲から、6.6.2 で示したとおり特徴的な EC 測定値が任意地点調査から検知された。

今後もコスト等の理由から、行政による公共用水質測定地点の拡充が現実的でないことを鑑みると、旧来どおりこれらの測定地点は河川・流域における基準点と位置づけ、今回示したような調査方法により河川・流域の中流・上流部等を空間的に補完することが、各地域、地方、全国的な EC の傾向を捉える近道と考えられる。そのためにも、既存の基準点(測定地点)における EC の測定実施の増加が期待される。

また本稿では主題である EC のみを取り扱ったが、同時測定した水温、pH 等についても、データベースに収録することで水質形成や生息場環境などの検討に貢献するものとする。

6.7 河川・流域における電気伝導率測定値の読み方・捉え方と現時点での傾向

6.7.1 電気伝導率測定値の読み方・捉え方

現場で得られた EC 測定値の読み方・捉え方として 3 つの方法(ステップ)について示す。環境水における具体的な傾向については、いくつかのケースや地域に絞って 6.7.2 空間的傾向、6.7.3 時系列的傾向、6.7.4 統計的傾向に分けて示す。

(1) 目安表との対比

測定値の読み方として、2.3.8 の表 2-2 で示した EC の目安表の利用が挙げられる。これにより手元の測定値のレベルやレンジについて大まかなカテゴライズが可能である。ただし河川水や地下水・湧水といったバックグラウンドの影響を受ける環境水が示す中間的な値(5~40mS/m 程度)の評価・解釈は、文献及び時代背景(水質汚濁)を考慮すると多少の相違があるため、あくまで「目安」としての利用が前提となる。

(2) GIS を用いた空間的可視化

測定値の空間的な捉え方として、6.4 で示した GIS 等を用いた可視化(マップ化)が挙げられる。空間的に可視化する場合「マルチスケール」で捉えることが肝要であり、測定値をミクロ的に周辺地域レベルで比較すること、またミドルレンジとして同河川の上下流、同流域の他河川の測定値と比較すること、更にはマクロ的に全国、地方というスケールで比較することが考えられる。またアウトプットとして値のレベル分け等でのゾーニング等も可能である。ただしマクロ的に比較可能なデータは通常存在しないため、これまでに提案した EC データベース化が必要である。

(3) 折れ線グラフ等を用いた時系列的可視化

測定値の時系列的な捉え方として、データを複数回測定している場合に限られるが、通常の折れ線グラフ等を用いた可視化(グラフ化)が挙げられる。ただし時間的な網羅性の点からあくまで測定日に限ったデータとなる。

(4) ボックスプロット(箱ひげ図)を用いた統計的可視化

測定値の統計的な捉え方として、6.4.2 で示した統計値(最小値、25%値、中央値、75%値、最大値)を算出し、ボックスプロット(箱ひげ図)を用いた変動幅の可視化が挙げられる。また代表値として平均値ではなく中央値を用いることが推奨される。またアウトプットとして、6.4.2 で示したとおり各地点の変動幅の傾向からのカテゴライズ、都道府県単位、流域単位等でグループ化することで、地域的な目安(レベルやレンジ)を示すことも可能である。

(5) EC データベースの参照(将来構想)

以上の方法により取得したデータを読みとり、EC データベース(本研究で示した試行版)を参照することで、行政機関によるデータが担保された(データベース化が可能な)地域では、その概況を捉えることが可能である。

6.7.2 結果としての空間的傾向

図 6-9 に示した公共用水域水質測定結果・任意地点調査結果による EC の傾向から概観すると、以下の空間的傾向が読み取れる。またその要因についての考察も加える。

- ① 沿岸部に隣接した地点は、河床勾配や潮止め堰がある場合等を除き一様に高値である。そのような地点はほぼ海域といえる地点(年間の変動幅が小さい)と、感潮域(汽水域)といえる地点(年間の変動幅

が大きい)に分けられる。

- ② 河川の山地区間、特に最上流部では低値であるが、これまでに示したようにバックグラウンドの影響があり一様ではない。顕著な例として花崗岩地帯では非常に低値、石灰岩地帯では高値といった傾向も見られる。ただし火山や温泉地帯を有する上流部は例外で高値を示す場合がある。
- ③ 関東地方と中部地方を比較すると、関東地方の平野部は一様に高値であるのに対し、中部地方の平地では高値(主に中小河川)と低値(大河川)がモザイク状に入り組んでいる。中部地方では大河川上流からのボリューム的に大きな水塊が低値であるため下流の支川の影響を受けにくいと考えられる。

6.7.3 結果としての時系列傾向

時系列的な傾向として、本検討においては直接的に示していないが以下の傾向が挙げられる。またその要因についての考察も加える。

- ① 季節変化的な変動として、河川の場合に流況に応じた変化が見られる。豊水・平水時に比べて自流水が減少する低水・渇水時は、希釈効果の低下等により相対的にやや高い値を示す。また、積雪の多い地域では融雪水の流入による影響がある。
- ② 短期的な変動としては、降雨(水)の流入によるもの、一時的なポイントソースの流量によるもの等の濃度変動が挙げられる。降雨時の中小河川において、流入する降水の比率が自流水を大きく上回るような場合、EC はほとんど降水のレベルに近い低値を示す場合がある。
- ③ 長期的な変動としては、土地利用や水循環機構の変化などが考えられる。公共用水域水質測定では、数十年程度の経年変化が追えるが、変動が見られても因果関係の立証は容易ではない。

以上の傾向が挙げられるが、6.7.1(3)で触れたとおり、時間的の網羅性の問題から、特に短期的な変動を捉えるためには EC ロガーや自動採水装置等が必要になる。

6.7.4 結果としての統計的傾向

統計的な傾向として図 6-4 のボックスプロットから EC の傾向について外観すると、以下の統計的傾向が読み取れる。またその要因についての考察も加える。

- ① 6.4.2 で示したとおり、各地点の変動幅を都道府県単位等、あるエリアについて 50～100 地点程度でまとめ、中央値順に並べた場合、分布は大まかに 3 点にカテゴライズできる(閾値は中央値ベースの目安)。(1) 10mS/m 以下の低値(河川の最上流域、花崗岩地帯等特徴的なエリア)、(2) 10～50mS/m 程度の中間値(淡水の河川・湖沼等)、(3) 50mS/m 以上の高値(潮水が混入する沿岸域の河川・湖沼、無機系汚濁した河川・湖沼)。(2)のカテゴリが基本になるが、沿岸域を含む場合は(3)が、バックグラウンドのレベルが低い地域(花崗岩地帯等)を含む場合は(1)が加わる。これにより大まかな地域的傾向が概観できる。
- ② 変動幅の非常に大きい地点は、6.7.2①で示した沿岸部の感潮域(汽水域)である可能性が高い。河川からの淡水の影響を受ける塩淡水境界部に位置する地点では、潮位や河川の流況に応じたと見られる変動が起きており、結果的に年間変動幅は非常に大きい。公共用水域水質測定では、一日数回時間を変えて測定しているケースもある。
- ③ 変動幅の小さい地点は、高値のレベルでは海水の影響が顕著な地点(ほとんど海域といえる)、低値のレベルでは、人工的な影響の少ない河川の上流域に位置する地点である傾向がみられる。また中間的なレベルでは湧水やそれらからなる湧水河川等の質的・量的に安定した水域についてもいえる。

6.7.5 電気伝導率の限界と因果関係に関する詳細調査・分析例

2.5.3(2)と 4.6.7 で示したとおり、EC は溶存イオンの総量(多少)を示す指標に過ぎず、これを低コストで素早く簡便な方法で当たりをつけるためには優位であるが、内訳としてのイオン組成がどのように変化しているかについては、イオンクロマトグラフィー等を用いた溶存イオン分析が必要である。また地質や土地利用等のバックグラウンドとの因果関係についても、EC で河川・流域全体の傾向を捉えた上で、溶存イオン分析等、より詳細に分析をする必要がある。今回の結果と地質図をオーバーレイした結果を図 6-13 に例示する。地質との対応などは

個別的な検討が必要であり、今後の課題とする。

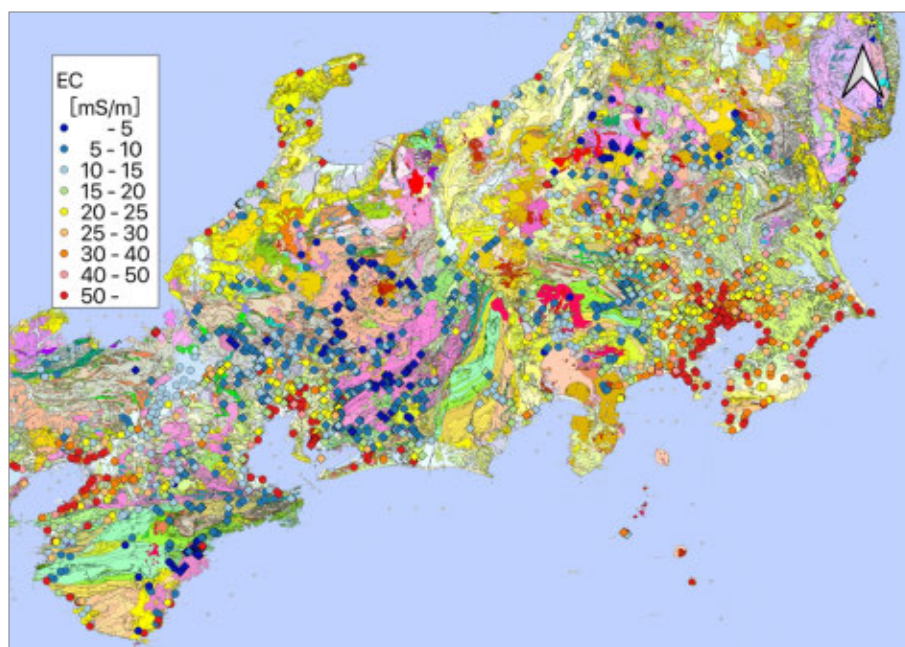


図 6-13 2016 年度公共用水域水質測定・任意地点調査結果と地質図(中日本地域)

データ出典：20 万分の 1 日本シームレス地質図(産業技術総合研究所地質調査総合センター)⁶⁾

6.7.6 地点・時間網羅性の限界と地点代表性

EC に限った課題ではないが、水質測定における地点・時間の網羅性の限界と、地点代表性についての課題として以下が挙げられる。

地点の網羅性についてはマルチスケールでの議論が必要になるが、まずマクロ的には公共用水域水質測定地点によるカバーが期待されたが、地域限定という結論に至った。またミクロ的には 3 章で示した特定の調査範囲を除き、当然ながら全国隅々をカバーできておらず、任意地点調査で一部の特徴的なエリアを検知したものの、様々な特徴・傾向を有する未知なる河川・流域が多数存在するものと予想される。また後述する代表性と関係するが、河川・流域における流水のネットワークを意識した地点設定が必要である。

時間の網羅性については、EC ロガーや自動採水装置等を用いなければ全時間的な変動は捉えられないが、現実的ではなく、6.7 で示したとおりに EC の時系列変動に留意して調査を実施する必要がある。

また地点代表性については、公共用水域水質測定における地点設定は大河川の主要地点、中小河川の下流末端など、これらを考慮して地点設定されているものと考えられるが、個別的な検証も必要である。また河川・流域の結果としての水質を見る上では、下流末端等への設定が代表性という点で有効であるが、水系・流域における水質形成や実態としての水質を見る上では、中流・上流域、その他への地点設定も必要である。これについての解決策は、6.6.3 で示したとおりである。

いずれも調査に投入できる人的・時間的・資金的リソースが有限な中で網羅性を担保するためには、流況等の時間変化を予測すること、広義の意味での代表性がある地点設定をすることが重要と考える。

6.7.7 EC データベース化の試行のまとめ

以上、今回対象・収集した範囲における EC の傾向について、現時点で捉えられる傾向について示した。本章では EC データベース化の試行として、河川・流域末端等の河川・流域における代表性が優先されている公共用水域水質測定に注目したが、残念ながら EC については全国をカバーできないことが分かった。しかしながら、公共用水域水質測定並びに今回の任意地点調査によりカバーしたエリア(特に中部地方・関東地方)については、データベース化に資する EC のデータ及び傾向がある程度揃えられたのではないかと考える。これを踏

まえて 4 章で提案した導入的調査スキームへのフィードバックについて 6.8 で検討する。

6.8 流域・河川の導入的調査スキーム（4 章）へのフィードバック

6.8.1 調査対象予定フィールド周辺の事前的情報（地域限定）

本章における調査・検討から、現時点では「地域限定」ではあるが、EC のデータベース化により 4 章で示した調査スキームのうち、4.5.2 既存水文・水質データの収集における参照先となりうる。これにより、事前に対象地周辺の EC の傾向が捉えられ、現場での実測の際に比較が可能になることで、より素早く河川・流域の概況が捉えられると考える。これまでの調査から、例えば関東地方では 5mS/m 以下の測定値が得られることは稀有であり、仮にそのような値が捉えられれば河川・流域の特徴があるものと推定される。

6.8.2 調査対象フィールドから得られた測定値の地域的な位置付け（地域限定）

6.8.1 と同様に、対象地における実測データが得られた際は、現時点では「地域限定」ではあるが、EC のデータベースとの比較により地域、地方、全国的な位置付けが可能になる（全国は今後の課題）。

つまりは河川・流域をマルチスケールで捉えた場合、マクロスケールレベル（河川・流域全体スケール）でのトレンドは EC データベース（公共用水域水質測定結果）により概観することができ、現地調査（実測）により取得したよりきめ細やかなミドルレンジ、ミクロスケールでのデータと比較することで、地域的な位置付け（相対評価）が容易になるものとする。これによって、EC のトレンドから同質性、異質性を検知でき、河川・流域の水質形成や流域構造の特徴などを素早く捉えられる。

6.9 本章のまとめ

本章でのまとめ及び成果として、次の点が挙げられる。第一に全国 47 都道府県の公共用水域水質測定結果を対象とした EC データの収集を試み、全国的な EC データの存在・不存在を明らかにした。結果的には 6,371 箇所中 2,141 箇所のデータを収集した。また 12 県が EC を測定していないことを明らかにした。第二に以上の結果について GIS を用いた空間的可視化、統計値とボックスプロットを用いた時間的可視化を通じ、マクロ的な傾向について概観した。第三に公共用水域水質測定結果における空白域の補完等を目的とした任意地点調査を独自に 1,124 地点で実施しその結果について示した。第四に 4 章において提案した調査スキームをより活用し易くする目的で、5 章と本章で検討したデータベース化の有効性について考察した。

6.10 参考文献（第 6 章）

- 1) 環境省:水環境総合情報サイト, <https://water-pub. env. go. jp/water-pub/mizu-site/>, 2019/8/19 参照.
- 2) 環境省 水・大気環境局水環境課:公共用水域水質データファイル利用説明書, 2012, https://water-pub. env. go. jp/water-pub/mizu-site/mizu/download/kousui/kousui_y_manual. pdf(2019/8/19 参照).
- 3) 国土交通省:水文水質データベース, <http://www1. river. go. jp>, 2019/9 参照.
- 4) 埼玉県:小山川ブロックの概要, 利根川水系小山川ブロック河川整備計画(県管理区間), 2006.
- 5) NHK スペシャル取材班, 内山りゅう, 近藤玲介, 平嶋健太郎, 富川光, 森哲也:奇跡の清流銚子川 もっと知りたい!見えないものが見える川, 山と溪谷社, 2019.
- 6) 産業技術総合研究所地質調査総合センター:20 万分の 1 日本シームレス地質図, 2015.

6.11 関連発表・論文

(1) 関連発表

- [1]. 吉川慎平, 鷺見哲也:中部地方の河川を対象とした電気伝導率の傾向把握に関する基礎的検討, 平成 30 年度土木学会中部支部研究発表会, 2019.
- [2]. 吉川慎平, 鷺見哲也:関東地方の河川を対象とした電気伝導率の傾向把握に関する基礎的検討, 平成 30

年度土木学会関東支部技術研究発表会, 2019.

- [3]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 全国 47 都道府県の河川を対象とした電気伝導率の傾向把握に関する検討, 令和元年度土木学会全国大会 第 74 回年次学術講演会, 2019.
- [4]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 全国 47 都道府県の河川・湖沼を対象とした電気伝導率の傾向把握に関する基礎的検討, 応用生態工学会 第 23 回研究発表会, 2019.

(2) 関連論文

- [1]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 中部地方の河川を対象とした電気伝導率の傾向把握に関する基礎的検討, 平成 30 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 2019.
- [2]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 関東地方の河川を対象とした電気伝導率の傾向把握に関する基礎的検討, 平成 30 年度土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, 2019.
- [3]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 全国 47 都道府県の河川を対象とした電気伝導率の傾向把握に関する検討, 令和元年度土木学会全国大会 第 74 回年次学術講演会, 2019.
- [4]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 全国 47 都道府県の河川・湖沼を対象とした電気伝導率の傾向把握に関する基礎的検討, 応用生態工学会 第 23 回研究発表会講演集, 2019.

第7章 結論 まとめと今後の課題・展望

7.1 研究の背景・目的と電気伝導率を用いた従来調査法の整理 <第1部・2章>

1章では研究背景と目的について示した。第一に水循環基本法並びに水循環基本計画で示された「流域総合的管理」を実現するためには、実態としての水収支・物資収支を流域の末端部までを含め定量的に把握し、その健全性について評価することが重要であることを示した。その上で、河川・流域においてマルチスケールでの流域情報管理(水文・水質データ等)が必要であるが、中小河川や大河川地先等のミクロレベルでは情報が不足しているものの、現状の観測体制の拡充は現実的でないことに鑑み、低コストで実現可能な効率的調査スキームの開発が必要であることを示した。第二に既報である河道水理特性の事前的把握手法の詳細を示した。第三に本研究では水収支、物質収支のインジケータとして電気伝導度の各種優位性に注目し、これを活かした調査スキームを実践的に開発することを研究目的として示した。

2章では第一に先行研究としてまとめられたECの定義・原理並びに調査法等の解説を、網羅的に収集し成果を提示した。第二に文献・資料調査から得られた多数のECに関する解説・情報を、カテゴリ別に整理し展開した。第三にECの利活用の点から、まずECの利点・留意点を挙げ、その上で既存の調査法の整理と、効率的という点から調査実施上の優位性を実経験と合わせて提示した。第四に次章以降の2つの展開・方向性について示した。

7.2 情報が不足した河川・流域の導入的調査スキームの実践的開発と提案 <第2部・3~4章>

3章では第一に河川・流域の規模と、抱える背景、課題の異なる5現場(河川・流域)を対象に、ECを指標とした各種利用法を組み合わせた調査の実践について示した。第二に①矢作川本川中流・白浜地先、②荒川水系落合川と南沢湧水群、③木曽川水系津屋川流域、④利根川水系霞ヶ浦(西浦)と桜川流域、⑤矢作川流域全体の順で各現場の概要、課題から調査の内容、結果までを詳細にまとめた。第三に各現場の総括的な考察を通じて、2章で挙げたECの利点・優位性について再度評価した。第四に4章においてはこれらを踏まえ情報不足な河川・流域の導入的調査スキームとして体系的に整理し提案すること、5・6章においてはECの相対評価に資するデータベース化について検討すること、という2つの方向性について示した。

4章では第一にECを用いた情報不足な河川・流域の導入的調査スキームとして3つのフェーズに分け具体的な調査手法として整理し提案としてまとめた。第二にオプションとしての流量観測による検証、またECと流量を組み合わせた高度な利用法についても示した。第三に本スキームの優位性についても考察した。

7.3 電気伝導率測定値の相対評価に資する全国版データベースの整備検討 <第3部・5~6章>

5章では第一にEC測定値の相対評価に資する全国的なECデータベースの整備の必要性についての論点の整理、既存の各種水質データベースのレビュー、その上で環境省の「水環境総合情報サイト」が参考になることを示した。第二に本検討におけるデータベースのイメージ(仕様)を具体化し、整備により得られる効果(可能性)について展望した。第三にデータベースのコアデータとして注目した都道府県による「公共用水域の水質測定結果」についての解説を示した他、ECデータが含まれるその他データについてもレビューした。第四に公共用水域のみではローカルなデータが不足することを想定し、空間的に補完するための任意地点における現地調査の実施について示した。

6章では第一に全国47都道府県の公共用水域水質測定結果を対象としたECデータの収集を試み、全国的なECデータの存在・不存在を明らかにした。結果的には6,371箇所中2,141箇所のデータを収集した。また12県がECを測定していないことを明らかにした。第二に以上の結果についてGISを用いた空間的可視化、ボックスプロットを用いた時間的可視化を通じ、マクロ的な傾向について概観した。第三に同測定結果における空白域の補完を目的とした任意地点調査を独自に約1,124地点で実施しその結果について示した。第四に4章

において提案した調査スキームをより活用し易くする目的で、5 章と本章で検討したデータベース化の有効性について考察した。

7.4 まとめと総合考察

本研究では流域総管理化のための流域情報管理を念頭に、河川・流域をマルチスケールで捉えた場合、情報が不足傾向にある中小河川や大河川の地先等の末端部において河川・流域の水循環機構(流域構造)と、水収支や物質収支の実態を、本格的な調査(流量観測や溶存イオン分析等)の初期(導入)段階において、効率的(低コスト、簡便、迅速)にその概況を把握できる調査手法の開発を目的に、水質・物質共通のインジケータとしての EC の各種優位性に注目した。

EC を利用した各種調査手法を、条件の異なる複数の現場へ適用し、実践的に検討することで得られた知見を基に、情報が不足した河川・流域を想定した導入的調査スキームとして提案した。更には指標としての EC の活用と本スキームの利便性を向上させるため、測定値の絶対評価が困難な EC の相対評価に資する、環境水における EC の傾向を把握できる全国版データベースの整備を試行し、公共用水域水質測定における全国的な EC データの存在、不存在並びにその傾向を示した。またデータ不足域の空間的補完を目的に、任意地点における EC の現地調査結果についても示した。

今後の課題・展望については 7.5 に示す。

7.5 今後の課題と展望

EC 全般についての今後の課題として以下が挙げられる。

- ① EC の利活用促進以前に、単位系 (mS/m, μ S/cm) の混在によるデータ管理上の混乱を解消する必要がある。SI 単位計の S/m (実用では mS/m) への統一が望ましく、特に公共用水域水質測定結果を取りまとめる都道府県にあっては、環境基準化されていないとはいえ公共の統計(データ)であることを鑑み、単位系については十分に精査した上で信用できる数値を公表していただきたい。
- ② 研究全般としての展望に通ずるが、EC の特に物質循環(物質循環面)のインジケータとしての利活用を図る上では、多少粗い空間密度であっても全国、地方、地域における傾向を概観できる状態にすることが重要である。そのためにもコアデータとして公共用水域水質測定における EC 測定地点数の維持・拡大に期待したい。特に測定対象外としている 12 県(2019 年度現在)については対象とすることを要望したい。

また研究全般についての今後の展望としては以下が挙げられる。

- ① 上述したとおり、コアデータとしての公共用水域水質測定において全国的な EC データが測定・蓄積されることにより、全国、地方、地域といった単位での空間的可視化並びに統計値等が算出でき、EC 測定値を利用する上での参考情報を整備することができる。
- ② 整備された参考情報は研究者をはじめ、学校・市民活動レベルでの利活用が期待される。任意地点での EC 測定結果と参考情報を照らし合わせることで、相対評価が容易に実現される。これにより、河川・流域における水収支、物質収支を概観できる他、水の同質性、異質性(異常検知)の確認など、様々な調査・研究が展開可能であると考えられる。
- ③ 現在市民参加による「身近な水環境の全国一斉調査¹⁾」が毎年 6 月に実施されており、水質汚濁の評価や簡便性という点で COD(パックテスト)がその指標となっている。水循環基本法における「健全な水循環の維持」というこれからの時代にあつては、有機的な水質汚濁も重要であるが、無機的な水質汚濁の監視も含め上述した水収支・物質収支のインジケータとして EC を測定できると理想的である。既に荒川水系(関東)の新河岸川流域等では COD と EC (及び溶存イオン)、その他の同時測定が取り組まれている。公共用水域水質測定による EC の測定について上述したが、並行して市民参加による EC の多地点観測といったことが実現されると、ますますその実態に迫っていけるものと考えられる(現在も任意調査項目として位置付けられている)。同測定は広く市民の参加を想定したものであり、詳細なマニュアルが用意さ

れ公開されている²⁾。EC の測定を学校・市民活動レベルにも実装していく段階では、こうしたマニュアルや活用例、応用例等を用意していく必要があると考える。

以上、今後も効率的な EC (値の保存性が利用でき、測定が低コストで経済性、簡便性、即時性に優れる) を利用した河川・流域の調査法、スキームの普及を通じ、より良い河川・流域づくり、健全な水循環の維持に貢献したい。

7.6 参考文献（第 7 章）

- 1) 全国水環境マップ実行委員会, 身近な水環境の全国一斉調査, :<http://www.japan-mizumap.org/index.htm>, 2020/1 参照.
- 2) 全国水環境マップ実行委員会: 身近な水環境の全国一斉調査「未来に残そうあなたの水辺」詳細マニュアル, 2007.

関連論文・発表（総括）

(1) 関連発表

- [1]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 矢作川白浜工区河道掘削後モニタリングのための縦断水位連続観測について, 国土交通省豊橋河川事務所 矢作川流域圏懇談会第 31 回川部会 WG, 2015. 【3.3 関連】
- [2]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 平成 27 年度土木学会中部支部研究発表会, 矢作川白浜工区河道掘削後モニタリングのための縦断水位連続観測, 2016. 【3.3 関連】
- [3]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 河道掘削時に造成された低水路内人工ワンド環境の維持に関する考察, 平成 28 年度土木学会全国大会 第 71 回年次学術講演会, 2016. 【3.3 関連, 優秀講演者賞受賞】
- [4]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 施工を伴う河川環境創出スキームへの実装を目的とした高密度な河道水理特性の事前的把握手法, 土木学会水工学委員会河川部会 2017 年度河川技術に関するシンポジウム, 2017. 【3.3 関連】
- [5]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 矢作川・白浜工区周辺水域の水質と水生生物相調査結果について, 国土交通省豊橋河川事務所 矢作川流域圏懇談会第 37 回川部会 WG, 2016. 【3.3 関連】
- [6]. 吉川慎平: 矢作川・白浜工区人工わんど周辺の水生生物と水質の傾向から, 豊田市矢作川研究所 第 13 回矢作川学校ミニシンポジウム, 2017. 【3.3 関連】
- [7]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 荒川水系落合川と南沢湧水群周辺の基礎的水質・水文調査, 第 53 回日本水環境学会年会, 2019. 【3.4 関連】
- [8]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 木曽川水系津屋川の本川及び中流湧水群の水質特性について, 土木学会水工学委員会水文部会 第 16 回地下環境水文学に関する研究集会, 2016. 【3.5 関連】
- [9]. 吉川慎平, 鷺見哲也: ハリヨ生息地としての木曽川水系津屋川流域の構造と湧水環境, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会, 2017. 【3.5 関連】
- [10]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 木曽川水系津屋川ハリヨ生息地の湧水環境と水質の季節変動, 第 51 回日本水環境学会年会, 2017. 【3.5 関連】
- [11]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 木曽川水系津屋川のハリヨ生息地保全を目的とした湧水機構の推定, 土木学会第 72 回年次学術講演会, 2017. 【3.5 関連】
- [12]. 吉川慎平, 鷺見哲也: ハリヨ生息環境を支える養老山麓津屋川湧水群を中心とした水環境の現状と課題, 応用生態工学会第 21 回研究発表会(ELR2017), 2017. 【3.5 関連】
- [13]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 湧水環境依存種の生息場回復に向けた河道縦断における湧水ポテンシャル分布の評価手法, 土木学会水工学委員会河川部会 2018 年度河川技術に関するシンポジウム, 2018. 【3.5 関連】
- [14]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 湧水環境依存種の生息場回復に向けた湧水ポテンシャル分布の評価, 応用生態工学会 第 22 回研究発表会, 2018. 【3.5 関連, 最優秀ポスター発表賞受賞】
- [15]. 鷺見哲也, 吉川慎平: ハリヨのすみか 養老山麓の湧き水はどこで・どれだけ・どんな水が湧いている? (大同大学 鷺見研究室), トゲウオシンポジウム in おおがき, 2018. 【3.5 関連】
- [16]. 吉川慎平, 大塚ちか子, 夏井正明, 神明久, 熊田千春, 鷺見哲也: 霞ヶ浦流入河川・桜川流域における水循環機構の特徴と電気伝導率からみた水質実態, 平成 29 年度土木学会関東支部技術研究発表会, 2018. 【3.6 関連】
- [17]. 吉川慎平, 大塚ちか子, 夏井正明, 神明久, 熊田千春, 鷺見哲也: 高度化した水循環機構下にある霞ヶ浦流入河川・桜川流域の水質特性の可視化を目的とした多地点電気伝導度観測, 第 52 回日本水環境学会年会, 2018. 【3.6 関連】
- [18]. Shinpei Yoshikawa, Chikako Ohtsuka, Masaaki Natsui, Chiharu Kumada, Akihisa Jin, Tetsuya Sumi : Water environment in the Sakuragawa river basin under the advanced water circulation mechanism of Lake Kasumigaura Visualization of actual water quality by multipoint electric conduction observation, The 17th

World Lake Conference, October 2018. 【3.6 関連, 国際会議】

- [19]. Chiharu Kumada, Shinpei Yoshikawa, Chikako Ohtsuka, Masaaki Natsui, Akihisa Jin : Current status and issues of water environment of Sakuragawa River aim for water quality improvement, The 17th World Lake Conference, 2018. 【3.6 関連, 国際会議】
- [20]. 吉川慎平, 大塚ちか子, 夏井正明, 熊田千春, 神明久, 鷺見哲也:高度化した水循環機構下にある霞ヶ浦流入河川・桜川流域の水環境ー多地点電気伝導率観測による水質実態の可視化ー, 茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター公開シンポジウム 霞ヶ浦流域研究 2019. 【3.6 関連】
- [21]. 熊田千春, 吉川慎平, 大塚ちか子, 夏井正明, 神明久:利根川水系桜川の水質改善に向けた水環境の現状と課題, 茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター公開シンポジウム 霞ヶ浦流域研究 2019. 【3.6 関連】
- [22]. 吉川慎平, 大塚ちか子, 夏井正明, 熊田千春, 神明久, 鷺見哲也:高度化した水循環機構下にある霞ヶ浦流入河川・桜川流域の水環境ー多地点電気伝導率観測による水質実態の可視化ー, 第 17 回世界湖沼会議一周年記念企画展, 2019. 【3.6 関連】
- [23]. 熊田千春, 吉川慎平, 大塚ちか子, 夏井正明, 神明久:利根川水系桜川の水質改善に向けた水環境の現状と課題, 第 17 回世界湖沼会議一周年記念企画展, 2019. 【3.6 関連】
- [24]. 吉川慎平, 鷺見哲也:電気伝導率からみた矢作川本川の水質実態と流域構造の特徴, 平成 29 年度土木学会中部支部研究発表会, 2018. 【3.7 関連】
- [25]. 吉川慎平:矢作川本川の水質と流域構造を知ろう! 電気伝導率からみた矢作川本川の水質実態と流域構造の特徴, 矢作川流域圏懇談会第 1 回合同部会, 2018. 【3.7 関連】
- [26]. 吉川慎平, 鷺見哲也:多地点電気伝導率観測から見える矢作川流域の河川水実態, 平成 30 年度土木学会全国大会 第 73 回年次学術講演会, 2018. 【3.7 関連】
- [27]. 吉川慎平, 鷺見哲也:中部地方の河川を対象とした電気伝導率の傾向把握に関する基礎的検討, 平成 30 年度土木学会中部支部研究発表会, 2019. 【6.4 関連】
- [28]. 吉川慎平, 鷺見哲也:関東地方の河川を対象とした電気伝導率の傾向把握に関する基礎的検討, 平成 30 年度土木学会関東支部技術研究発表会, 2019. 【6.4 関連, 優秀発表者賞受賞】
- [29]. 吉川慎平, 鷺見哲也:全国 47 都道府県の河川を対象とした電気伝導率の傾向把握に関する検討, 令和元年度土木学会全国大会 第 74 回年次学術講演会, 2019. 【6.4 関連】
- [30]. 吉川慎平, 鷺見哲也:全国 47 都道府県の河川・湖沼を対象とした電気伝導率の傾向把握に関する基礎的検討, 応用生態工学会 第 23 回研究発表会, 2019. 【6.4 関連】

(2) 関連論文(査読付き)

- [1]. 吉川慎平, 鷺見哲也:施工を伴う河川環境創出スキームへの実装を目的とした高密度な河道水理特性の事前的把握手法, 土木学会水工学委員会河川部会 河川技術論文集 Vol.23 pp.585~590, 2017. 【3.3 関連, 査読付き】
- [2]. 吉川慎平, 鷺見哲也:湧水環境依存種の生息場回復に向けた河道縦断における湧水ポテンシャル分布の評価手法, 土木学会水工学委員会河川部会 河川技術論文集 Vol.24 pp.355~360, 2018. 【3.5 関連, 査読付き】

(3) その他関連論文

- [1]. 吉川慎平, 鷺見哲也:矢作川白浜工区河道掘削後モニタリングのための縦断水位連続観測, 平成 27 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 2016. 【3.3 関連】
- [2]. 吉川慎平, 鷺見哲也:河道掘削時に造成された低水路内人工ワンド環境の維持に関する考察, 平成 28 年度土木学会全国大会 第 71 回年次学術講演会講演概要集, 2016. 【3.3 関連】
- [3]. 吉川慎平:流域総合管理に資する河川・水文情報の高度化に関する研究 ～矢作川流域圏をモデルとして～, 大同大学大学院修士論文, 2017. 【3.3 関連, 大同大学学長賞・土木学会中部支部長賞受賞】

- [4]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 荒川水系落合川と南沢湧水群周辺の基礎的水質・水文調査, 第 53 回日本水環境学会年会講演集, 2019. 【3.4 関連】
- [5]. 吉川慎平, 鷺見哲也: ハリヨ生息地としての木曽川水系津屋川流域の構造と湧水環境, 平成 28 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 2017. 【3.5 関連】
- [6]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 木曽川水系津屋川ハリヨ生息地の湧水環境と水質の季節変動, 第 51 回日本水環境学会年会講演集, 2017. 【3.5 関連】
- [7]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 木曽川水系津屋川のハリヨ生息地保全を目的とした湧水機構の推定, 土木学会第 72 回年次学術講演会講演概要集, 2017. 【3.5 関連】
- [8]. 吉川慎平, 鷺見哲也: ハリヨ生息環境を支える養老山麓津屋川湧水群を中心とした水環境の現状と課題, 応用生態工学会第 21 回研究発表会 (ELR2017) 講演集, 2017. 【3.5 関連】
- [9]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 湧水環境依存種の生息場回復に向けた湧水ポテンシャル分布の評価, 応用生態工学会 第 22 回研究発表会講演集, 2018. 【3.5 関連】
- [10]. 吉川慎平, 大塚ちか子, 夏井正明, 神明久, 熊田千春, 鷺見哲也: 霞ヶ浦流入河川・桜川流域における水循環機構の特徴と電気伝導率からみた水質実態, 平成 29 年度土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, 2018. 【3.6 関連】
- [11]. 吉川慎平, 大塚ちか子, 夏井正明, 神明久, 熊田千春, 鷺見哲也: 高度化した水循環機構下にある霞ヶ浦流入河川・桜川流域の水質特性の可視化を目的とした多地点電気伝導度観測, 第 52 回日本水環境学会年会講演集, 2018. 【3.6 関連】
- [12]. Shinpei Yoshikawa, Chikako Ohtsuka, Masaaki Natsui, Chiharu Kumada, Akihisa Jin, Tetsuya Sumi : Water environment in the Sakuragawa river basin under the advanced water circulation mechanism of Lake Kasumigaura Visualization of actual water quality by multipoint electric conduction observation, The 17th World Lake Conference Abstract book, 2018. 【3.6 関連, 国際会議】
- [13]. Chiharu Kumada, Shinpei Yoshikawa, Chikako Ohtsuka, Masaaki Natsui, Akihisa Jin : Current status and issues of water environment of Sakuragawa River aim for water quality improvement, The 17th World Lake Conference Abstract book, 2018. 【3.6 関連, 国際会議】
- [14]. Shinpei Yoshikawa: Outline of the Water Circulation Mechanism of the Sakuragawa River Basin Flowing into the Lake Kasumigaura, Bulletin of Jiyu Gakuen College of Liberal Arts Vol.4 pp.103-104, 2019. 【3.6 関連】
- [15]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 電気伝導率からみた矢作川本川の水質実態と流域構造の特徴, 平成 29 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, 2018. 【3.7 関連】
- [16]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 多地点電気伝導率観測から見える矢作川流域の河川水実態, 平成 30 年度土木学会全国大会 第 73 回年次学術講演会講演概要集, 2018. 【3.7 関連】
- [17]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 全国 47 都道府県の河川を対象とした電気伝導率の傾向把握に関する検討, 令和元年度土木学会全国大会 第 74 回年次学術講演会, 2019. 【6.4 関連】
- [18]. 吉川慎平, 鷺見哲也: 全国 47 都道府県の河川・湖沼を対象とした電気伝導率の傾向把握に関する基礎的検討, 応用生態工学会 第 23 回研究発表会講演集, 2019. 【6.4 関連】

謝辞

はじめに、本研究の遂行並びに本論文の執筆にあたり、修士課程より6年間にわたりご指導いただいた鷺見哲也教授に心より感謝申し上げます。また本論文をまとめるに際し貴重なご助言をいただいた、夏井正明先生(自由学園)、棚橋秀行教授、堀内将人教授をはじめ審査委員の先生方には厚く御礼申し上げます。

なお、現地調査では多くの方々の協力を得た。矢作川本川中流・白浜地先(3.3)では鷺見研究室歴代学生諸君、院生の大濱孝典君、荒川水系落合川と南沢湧水群(3.4)では大塚ちか子先生(自由学園)、木曽川水系津屋川流域(3.5)では鷺見研究室歴代学生諸君、利根川水系霞ヶ浦(西浦)と桜川流域(3.6)では大塚ちか子先生(自由学園)、夏井正明先生(自由学園)、熊田千春様(自由学園卒業生)、矢作川流域全体(3.7)では院生の古川俊君、小池真史君にご協力いただいた。御礼申し上げます。

その他、データ等を提供いただいた国土交通省(豊橋河川事務所)、都道府県等の関係機関の方々、学会、シンポジウム、国際会議等のご助言をいただいた方々、その他様々な場面でサポートいただいた方々にこの場を借りて御礼申し上げます。

付帯資料 1

付表 1-1 EC に関する記述が認められる文献リスト・参考(1/3)

No.	著者, 編者	タイトル	出版社	出版年	NDC
2	和田洋六	よくわかる最新水処理技術の基本と仕組み	秀和システム	2017	518.15
3	山田一裕	水しらの基礎知識	オーム社	2009	519.4
4	日本地下水学会	新・名水を科学する	技報堂出版	2009	452.95
5	三好康彦	水質用語事典	オーム社	2003	519.4
9	武田育郎	よくわかる水環境と水質	オーム社	2010	519.4
10	海老瀬潜一	水質流出解析	技報堂出版	2014	519.4
11	杉田倫明, 田中正	水文科学	共立出版	2009	452.9
12	鹿園直建	水資源の科学	オーム社	2012	517
17	日本陸水学会東海支部会	身近な水の水環境科学 実習・測定編 自然の仕組みを調べるために	朝倉書店	2014	452.9
19	岡内完治	だれでもできるパックテストで環境しらべ	合同出版	2002	519.15
20	半谷高久, 小倉紀雄	水質調査法 第3版	丸善	1995	518.12
21	吉村二三隆, 栗田工業株式会社	これでわかる水処理技術	工業調査会	2002	571.9
23	栗田工業(株)	入門ビジュアルテクノロジー よくわかる水処理技術	日本実業出版社	2006	571.9
26	新井正	水環境調査の基礎	古今書院	2003	452.9
28	日本地下水学会	名水を科学する	技報堂出版	1994	452.95
30	半谷高久, 高井雄, 小倉紀雄	水質調査ガイドブック	丸善	1999	518.12
32	日本水環境学会	水環境ハンドブック	朝倉書店	2006	519.4
35	西條八束, 三田村緒佐武	新編 湖沼調査法	講談社	2016	452.93
36	高橋裕	川の百科事典	丸善	2009	452.94
42	日本陸水学会	陸水の事典	講談社	2006	452.9
45	小倉紀雄	調べる・身近な水 (ブルーバックス do science)	講談社	1987	519.4
46	アクア, ライフ, フォーラム21	みんなの水道水安全でおいしい水を科学する:「知らなかった」では、自分も家族も守れない	総合科学出版	2011	518.1
49	大岩敏男, 大木久光, 高堂彰二, 保坂義男	トコトンやさしい環境汚染の本	日刊工業新聞社	2014	519
50	河辺昌子	だれでもできるやさしい水のしらべかた	合同出版	1993	519.4
53	杉山美次	最新水の雑学がよ〜くわかる本	秀和システム	2012	435.44
54	小倉紀雄, 藤森真理子, 梶井公美子, 山田和人	調べる・身近な環境—だれでもできる水、大気、土、生物の調べ方	講談社	1999	519
56	小倉紀雄	きれいな水をとるもどすために: 市民環境科学の誕生	あすなろ書房	1992	519.4
57	村上哲生, 花里孝幸, 吉岡崇仁, 森和紀, 小倉紀雄	川と湖を見る・知る・探る	地人書館	2011	452.9
58	大島康行, 小倉紀雄, 他	水のこころ誰に語らん	リバーフロント整備センター	2003	517.2136
60	登坂博行	地圏の水環境科学	東京大学出版会	2006	452.9
62	左巻健男, 市川智史	誰にでもできる環境調査マニュアル	東京書籍	1999	375
63	肥田登	扇状地の地下水管理	古今書院	1990	452.95
64	飯田貞夫	やさしい陸水学: 地下水・河川・湖沼の環境	文化書房博文	1993	452.9
65	門司正三, 高井康雄	陸水と人間活動 多摩川・霞ヶ浦・諏訪湖・中海・三河湾・琵琶湖	東京大学出版会	1984	452.9
67	日本分析化学会	現場で役立つ水質分析の基礎—化学物質のモニタリング手法—	オーム社	2012	519.4
68	小島貞男	上水・井戸水の分析	講談社	1974	519.11
69	日本分析化学会北海道支部編	水の分析	化学同人	2005	518.12
70	地盤工学会地下水を知る編集委員会編	地下水を知る	丸善	2008	518.12
71	藤縄克之	環境地下水学	共立出版	2010	452.95
72	松尾友矩, 田中修三	水環境工学	オーム社	2014	519.4
73	中島重旗	水環境工学の基礎	森北出版	1994	519.4
74	武田育郎	水と水質環境の基礎知識	オーム社	2001	519.4
75	川本克也, 長岡裕, 澤田繁樹著	水環境工学: 水処理とマネージメントの基礎	共立出版	2010	519.4
76	日本地下水学会	地下水水質の基礎: 名水から地下水汚染まで	理工図書	2000	452.95
78	高村弘毅	地下水と水循環の科学	古今書院	2011	452.95

付表 1-1 EC に関する記述を確認できた文献リスト・参考 (2/3)

No.	著者, 編者	タイトル	出版社	出版年	NDC
79	小路淳, 杉本亮, 富永修編	地下水・湧水を介した陸-海のつながりと人間社会	恒星社厚生閣	2017	452.95
80	P.A.ドミニコ, F.W.シュワルツ	地下水の科学2 地下水環境学	土木工学社	1996	452.95
81	西條八束, 奥田節夫	河川感潮域: その自然と変貌	名古屋大学出版会	1996	452.94
82	日本化学会	陸水の化学	学会出版センター	1992	452.9
83	日本地下水学会	名水を科学する 続	技報堂出版	1994	452.95
85	半谷高久	汚染水質機構	共立出版	1973	452.9
86	藤永薫編集, 大嶋俊一	陸水環境化学/Limnological chemistry	共立出版	2017	452.9
87	末次忠司	河川技術ハンドブック: 総合河川学から見た治水・環境	鹿島出版会	2010	517.036
89	山本荘毅	建築実務に役立つ地下水の話	建築技術	1994	513
99	マーク, W.デニー	生物学のための水と空気の物理	エヌ・ディー・エス	2016	423.8
101	川瀬義矩	水の役割と機能化 - その多様性と利用 -	工業調査会	2007	435.44
102	松田好晴, 岩倉千秋	電気化学概論	丸善	2014	431.7
103	飯田隆, 菅原正雄, 鈴鹿敢, 辻智也, 宮入伸一	イラストで見る化学実験の基礎知識	丸善	2009	432
104	日本水環境学会	日本の水環境行政	ぎょうせい	1999	519.4
110	西垣誠, 瀬古一郎, 中村裕昭	育水のすすめ 地下水の利用と保全	技報堂出版	2013	517.5
114	日本水環境学会	日本の水環境 2 東北編		2000	519.4
115	日本水環境学会	日本の水環境 3 関東・甲信越編		2000	519.4
116	日本水環境学会	日本の水環境 4 東海・北陸編		1999	519.4
144	久保田昌治	おもしろい水のはなし	日刊工業新聞	1994	435.44
145	左巻健男	水と空気の100不思議	東京書籍	1997	430.49
153	鈴木静夫	水の環境科学	内田老鶴園	1993	519.4
155	日本水環境学会	日本の水環境行政—改訂版	ぎょうせい	2009	519.4
159	高橋一, 末永和幸	湧泉調査の手引き 地学ハンドブックシリーズ・6	地学団体研究会	1992	452.95
160	榎根勇	地下水の世界 (NHKブックス)	日本放送出版協会	1992	452.95
161	鈴木静夫	水辺の科学—湖・川・湿原から環境を考える	内田老鶴園	1994	519.4
162	日本陸水学会東海支部会	身近な水の環境科学—源流から干潟まで	朝倉書店	2010	452.9
164	和田英太郎, 安成哲三, ほか	岩波講座 地球環境学〈4〉水・物質循環系の変化	岩波書店	1999	452.9
165	半谷高久, 安部喜也	水質汚濁研究法	丸善	1972	519.5
166	環境庁水質保全局水質規制課	水質汚濁 上 (公害と防止対策)	白亜書房	1973	519.5
167	環境庁水質保全局水質規制課	水質汚濁 下 (公害と防止対策)	白亜書房	1973	519.5
168	水道水質問題研究会	水道の水質調査法—水源から給水栓まで	技報堂出版	1997	518.12
169	盛下勇	ダム貯水池の水環境Q&Aなぜなぜおもしろ読本	山海堂	2002	517.73
171	鈴木裕一	新版 水環境調査の基礎	古今書院	2019	452.9
173	左巻健男	おいしい水安全な水 入門ビジュアルエコロジー	日本実業出版社	2000	518.1
180	廣田稔明	東京の自然水124	けやき出版	2006	291.36
183	竹内篤雄	自然地下水調査法 日本国内863箇所の地下水温	近未来社	2017	452.95
184	化学工業日報社	化学で探る飲料水の世界	化学工業日報社	1993	518.12
185	宗宮功	環境水質学	コロナ社	1999	519.4
186	George Tchobanoglous	水質環境工学—下水の処理・処分・再利用	技報堂出版	1993	518.2
187	池田駿介	環境保全・再生のための土砂栄養塩類動態の制御	近代科学社	2014	517
188	永淵修	高山の大気環境と渓流水質	技報堂出版	2016	519.3
189	東京地下水研究会	水循環における地下水・湧水の保全	信山社サイテック	2003	452.95
190	後藤清	だれでもわかる下水道不明水対策講座	環境新聞社	2011	518.23
191	丸山治	海水井戸と井戸障害対策	東京図書出版	2014	517.8
192	有田正光	水圏の環境	東京電機大学出版局	1998	517.1
193	T.アンダーセン	水圏生態系の物質循環	恒星社厚生閣	2006	468
197	宝馨, 磯部雅彦, ほか	岩波講座 地球環境学〈7〉水循環と流域環境	岩波書店	1998	517

付表 1-1 EC に関する記述が認められる文献リスト・参考 (3/3)

No.	著者, 編者	タイトル	出版社	出版年	NDC
198	阿岸祐幸	温泉の百科事典	丸善	2012	453.9
199	水の総合辞典編集委員会	水の総合辞典	丸善	2009	435.44
200	日本雪氷学会	雪氷辞典	古今書院	2014	451.66
201	日本雪氷学会	雪と氷の事典	朝倉書店	2018	451.66
202	日本地下水学会	地下水用語集	理工図書	2011	518.12
204	日本地下水学会	地下水・土壌汚染の基礎から応用—汚染物質の動態と調査・対策技術	理工図書	2006	519.4
206	日本水産資源保護協会	新編水質汚濁調査指針	恒星社厚生閣	1980	519.4
207	松江吉行	公共用水域保全のための水質汚濁調査指針	恒星社厚生閣	1961	519.5
208	宗宮功	水環境基礎科学	コロナ社	1997	519.4
210	地盤工学会 土壌、地下水汚染の調査、予測、対策編集委員会	土壌・地下水汚染の調査・予測・対策 続	地盤工学会	2008	519.5
213	環境庁水質保全局	土壌・地下水汚染に係る調査・対策指針運用基準	大蔵省印刷局	1999	519.5
214	地盤工学会 土壌、地下水汚染の調査、予測、対策編集委員会	土壌・地下水汚染の調査・予測・対策	地盤工学会	2002	519.5
215	榎根勇	実例による新しい地下水調査法	山海堂	1991	452.95
216	国包章一	水道水質管理と水源保全 各国の制度と動向	技報堂出版	2014	518.12
218	河川環境管理財団	河川・ダム湖沼用水質測定機器ガイドブック	技報堂出版	2001	519.4
219	加藤正樹	森林と溪流水質 その形成メカニズムと実態	林業科学技術振興所	1999	653
223	山本荘毅	新版 地下水調査法	古今書院	1983	452.95
225	山本荘毅	水文学総論	共立出版	1973	452.9
226	吉村信吉	湖沼学	三省堂	1937	452
227	水文、水資源学会	水文・水資源ハンドブック	朝倉書店	1997	452.9
228	山本荘毅	地下水探査法	地球社	1973	452.95
229	酒井軍治郎	地下水調査法	古今書院	1950	452.95
231	経済企画庁開発部国土調査課	全国水質分析資料	大蔵省印刷局	1957	519.11
232	科学技術庁資源調査所	英和和英水文用語集	水利科学研究所	1975	452.9
235	高橋明	水質汚濁の調査法 公共用水域の水質調査法と試験	地人書館	1963	517.6
237	半谷高久, 小倉紀雄	水質調査法 改訂2版	丸善	1985	518.12
239	三宅泰雄, 北野康	新水質化学分析法	地人書館	1976	519.11
244	日本水道協会	水道用語辞典 第2版	日本水道協会	2003	518.1
245	柏谷衛	ダム貯水池水質用語集	信山社	2006	517.72
246	公害防止の技術と法規編集委員会	新・公害防止の技術と法規 2018 水質編 水質概論	産業環境管理協会	2018	519
247	公害防止の技術と法規編集委員会	新・公害防止の技術と法規 2018 水質編 技術編	産業環境管理協会	2018	519
248	山本荘毅	地下水学用語辞典	古今書院	1986	452.95
249	河野忠	名水学ことはじめ 自然・人文科学の観点から	昭和堂	2018	452.95
250	小野寺真一	瀬戸内海流域の水環境	吉備人出版	2018	452.9
252	木下武雄	美しい日本の川と防災	総合法令出版	2019	517.4
253	浦瀬太郎	明解水質環境学	ブレアデス出版	2011	519.4
254	芹沢俊介	水環境を調べる(中学生の環境調査)	愛知教育大学	2002	519.4
257	農林省農地局	農業と公害 農業用水の水質保全	地球出版	1969	614.3
258	市川新	都市河川の環境科学 水質管理計画の考え方	培風館	1980	518.12
259	伊勢村壽三	水の話	培風館	1984	435.44
262	日本学術振興会「水の先進理工学」に関する先導的研究開発委員会	基礎からわかる水の応用工学	日刊工業新聞社	2011	435.44
266	新井正	地域分析のための熱・水収支水文学	古今書院	2004	452.9
268	半谷高久	水質調査法 初版	丸善	1960	433.8
269	中井多喜雄	早わかりSI単位辞典	技報堂出版	2003	609.036
270	白石拓	きちんと使いこなす!「単位」のしくみと基礎知識	日刊工業新聞社	2019	609

* 付表 1-1 については著者調べのため参考情報とする。

付表 1-2 EC に関する記述が認められない文献リスト・参考(1/3)

No.	著者, 編者	タイトル	出版社	出版年	NDC
6	早川光	ミネラルウォーター・ガイドブック	新潮社	2008	588.4
7	日本の水をきれいにする会	平成の名水百選	ぎょうせい	2009	291.09
8	日本環境管理学会	水道水質基準ガイドブック	丸善	2009	518.12
13	宇野木早苗, 山本民次, 清野聡子	川と海 流域圏の科学	築地書館	2008	452
14	大垣真一郎	河川と栄養塩類 管理に向けての提言	技報堂出版	2005	519.4
15	小倉紀雄, 山本晃一	自然的攪乱・人為的インパクトと河川生態系	技報堂出版	2005	517
16	吉川秀夫, 大垣真一郎	流域マネジメント—新しい戦略のために	技報堂出版	2002	519.4
18	土木学会水工学委員会環境水理部会	環境水理学	土木学会	2015	517.1
24	タクマ環境技術研究会	水処理技術絵とき基本用語	オーム社	2000	518.24
25	合田健	水質環境科学	丸善	1985	452.9
27	三好康彦	汚水・排水処理—基礎から現場まで	オーム社	2009	571.9
29	三好康彦	汚水・排水処理の知識と技術	オーム社	2002	518.24
31	上田孝俊, どりむ社	川の大研究	PHP研究所	2010	452.94
33	都築俊文	水と水質汚染	三共出版	1996	519.4
34	水みち研究会	水みちを探る 井戸と湧泉と地下水の保全のために	けやき出版	1992	452.95
37	小倉紀雄	図説日本の河川	朝倉書店	2010	517.21
38	日本河川, 流域再生ネットワーク(JRRN)	川を活かす・守る～河川再生事例集	リバーフロント研究所	2013	517.21
39	田中賢治, 浜口俊雄	地球の水SOS図鑑	PHP研究所	2010	517
40	谷田一三, 村上哲生	ダム湖・ダム河川の生態系と管理	名古屋大学出版会	2010	452.931
43	高橋裕	川から見た国土論	鹿島出版会	2011	517.04
44	谷田一三	河川環境の指標生物学	北隆館	2010	468
47	所眞理雄, 高橋桂子	水大循環と暮らし 21世紀の水環境を創る	丸善プラネット	2016	452.9
48	成美堂出版編集部	中学生理科の自由研究eco実験室	成美堂出版	2009	407.5
51	こどもくらぶ	目でみる水面下の図鑑	東京書籍	2018	452
52	高堂彰二	トコトンやさしい水道の本	日刊工業新聞社	2011	518.1
55	谷腰欣司	トコトンやさしい水の本	日刊工業新聞社	2001	452.9
59	大野晃	山・川・海の流域社会学	文理閣	2015	361.76
61	タクマ環境技術研究会	絵とき下水・汚泥処理の基礎	オーム社	2005	518.24
66	中村太士	河川生態学	講談社	2013	468
77	大島忠剛	ポンプ随想: 井戸および地下水学入門	信山社出版	1995	518.12
84	山本荘毅, 高橋裕	図説水文学	共立出版	1987	452.9
88	鈴木音彦	地下水処理工の事例	東洋書店	1994	513
90	田中丸治哉	地域環境水文学	朝倉書店	2016	452.9
91	水村和正	水圏水文学	山海堂	1998	452.9
92	水村和正	水文学の基礎	東京電機大学出版局	2008	452.9
93	清田佳美	水の科学: 水の自然誌と生命、環境、未来	オーム社	2015	452.9
94	「自然と共生した流域圏・都市の再生」ワークショップ実行委員会	自然と共生した流域圏・都市の再生	山海堂	2005	518.8
95	森誠一	魚から見た水環境 河川編 復元生態学に向けて	信山社サイテック	1998	517
96	沖大幹, 姜益俊	知っておきたい水問題	九州大学出版会	2017	517
97	犬井正	日本の川を調べる 1 (川から何を学ぶか)	理論社	1996	291
98	本山賢司	川の図鑑	東京書籍	2009	481.75
100	神崎愷	水の科学	日刊工業新聞社	2012	435.44
105	新谷融, 黒木幹男	流域学事典 人間による川と大地の変貌	北海道大学出版会	2006	454.3
106	井田仁康	調べよう!日本の自然と人びとの暮らし 第2巻	岩崎書店	2012	291
107	中村太士, 小池孝良	森林の科学 森林生態系科学入門	朝倉書店	2005	653.17
108	須賀堯三	川の個性 河相形成のしくみ	鹿島出版会	1992	452.94
111	大森浩二, 一柳英隆	ダムと環境の科学2 ダム湖生態系と流域環境保全	京都大学学術出版会	2011	517.7

付表 1-2 EC に関する記述が認められない文献リスト・参考 (2/3)

No.	著者, 編者	タイトル	出版社	出版年	NDC
112	池淵周一	ダムと環境の科学I ダム下流生態系	京都大学学術出版会	2009	517.72
113	日本水環境学会	日本の水環境 1 北海道編		2001	519.4
117	日本水環境学会	日本の水環境 5 近畿編		2000	519.4
118	日本水環境学会	日本の水環境 6 中国・四国編		2000	519.4
119	日本水環境学会	日本の水環境 7 九州・沖縄編		2000	519.4
120	日本水道協会	改訂 水道のあらまし	日本水道協会	1993	518.1
121	小林康彦	水道の水源水質の保全	技報堂出版	1994	518.12
122	山口伊佐夫	応用山地水文学	地球社	1997	656.5
123	岩佐義朗	湖沼工学	山海堂	1990	452.93
124	藤田四三雄, 園欣弥	水と生活(水の生活科学)	槇書店	2001	518.1
125	桜井善雄	水辺の環境学—生きものとの共存	新日本出版社	1991	519.81
126	高橋裕	自治体と水・土地・資源(シリーズ自治を創る)	学陽書房	1989	334.6
127	上田憲一	日本の水問題を考える—現場からの提案	技報堂出版	1996	517
128	高橋裕	地球の水危機—日本はどうする	山海堂	2003	517
129	RN. Yong, B.P. Warkentin, A.M.O. Mohamed	地盤と地下水汚染の原理	東海大学出版会	1995	519.5
130	地下水政策研究会	わが国の地下水—その利用と保全	大成出版社	1994	452.95
131	森下郁子	川の健康診断—清潔な流れを求めて(NHKブックス 290)	NHK出版	1977	519.4
132	小林勇	恐るべき水汚染—合成化学物質で破壊される水環境	合同出版	1989	519.4
134	高杉晋吾	水が減びる	三一書房	1986	517
136	藤縄克之	汚染される地下水(地学ワンポイント 2)	共立出版	1990	519.4
137	中西準子	いのちの水—新しい汚染にどう立ち向かうか	読売新聞社	1990	519.4
139	菱輪善蔵	水をはかる(はかるシリーズ)	日本規格協会	1998	435.44
140	佐島群巳, 金子美智雄	水をきれいにしよう—からだ・くらし・環境(図解でわかる地球環境とわたしたちの生活)	ほるぷ出版	1997	519
141	建設省関東地方建設局	利根川ハンドブック	建設省関東地方建設局	1987	290.1
143	岸由二	リバーネーム	リトル・モア	1994	519.8137
146	奈須紀幸, 伊藤和明	わたしたちの水があぶない!(地球の環境問題シリーズ4)	ポプラ社	1991	519
148	堀越正雄	日本の上水	新人物往来社	1995	518.1
149	堀越正雄	井戸と水道の話	論創社	1981	518.1
150	早川光	東京の自然水 歩く楽しむ	農山漁村文化協会	1988	452.95
151	早川光	新・東京の自然水	農山漁村文化協会	1992	452.95
152	建設技術研究所	新 川なぜなぜおもしろ読本—防災から親水まで	ナオブックスエナジー出版局	2012	517
154	土木学会関西支部	水のなんでも小事典 飲み水から地球の水まで	講談社	1989	517
156	伊与亨, 岡田誠之, 小川雄比古, 田所正晴, 森田昭, 吉野常夫	水とごみの環境問題 改訂3版	TOTO出版	2007	519
157	水みち研究会	井戸と水みち—地下の環境を守るために	北斗出版	1998	452.95
158	稲場秀明	水の不思議 ~ 科学の眼で見る日常の疑問 ~	技報堂出版	2017	435.44
163	橋本淳司	通読できてよくわかる 水の科学	ベレ出版	2014	435.44
170	古米弘明	水辺のすこやかさ指標“みずしるべ”身近な水環境を育むために	技報堂出版	2016	519.4
172	西条八束	湖の世界をさぐる 環境と人間 7	小峰書店	1997	452
175	犬井正	日本の川を調べる 2 日本を調べる本 北海道・東北の川とくらし	理論社	1996	291
176	犬井正	日本の川を調べる 3 日本を調べる本 関東・北陸の川とくらし	理論社	1996	291
177	犬井正	日本の川を調べる 4 日本を調べる本 東海・近畿の川とくらし	理論社	1996	291
178	犬井正	日本の川を調べる 5 日本を調べる本 中国・四国の川とくらし	理論社	1996	291
179	犬井正	日本の川を調べる 6 日本を調べる本 九州・沖縄の川とくらし	理論社	1996	291
181	南正時	関東・甲信越とおきの名水120	淡交社	2005	291.3
182	月刊上州路編集部	群馬の名水をたずねて 県内の名水ポイント30カ所	あさを社	2004	452.95
194	古米弘明	森林の窒素飽和と流域管理	技報堂出版	2012	519.4
195	本橋敬之助	湖沼・河川・排水路の水質浄化—千葉県の実施事例	海文堂出版	1997	519.4

付表 1-2 EC に関する記述が認められない文献リスト・参考 (3/3)

No.	著者, 編者	タイトル	出版社	出版年	NDC
196	本橋敬之助	命の水を守る 私たちにできること	海文堂出版	2002	519.4
203	山本民次, 花里孝幸	海と湖の貧栄養化問題 水清ければ魚棲まず	地人書館	2015	519.4
205	萩原耕一	水質衛生学	光生館	1985	518.12
209	竹内篤雄	地下水調査法 1m深地温探査	古今書院	2013	452.95
211	山室真澄	貧酸素水塊 現状と対策	生物研究社	2013	452.3
212	生田和正	アサリと流域圏環境 伊勢湾・三河湾での事例を中心として	恒星社厚生閣	2009	666.7
217	松田治	水産業における水圏環境保全と修復機能	恒星社厚生閣	2002	660.4
220	津田松苗	水質汚濁の生態学	公害対策技術同友会	1972	519.5
221	W.スタム	一般水質化学 上	共立出版	1974	452
222	W.スタム	一般水質化学 下	共立出版	1974	452
224	山本荘毅	地下水調査法 最近の理論と技術を中心として	古今書院	1953	452.95
230	酒井徹	水質の科学	水産社	1943	519.11
233	農林省水産局	水質保護に関する調査	農林省水産局	1932	662
236	建設省河川局開発課	ダム貯水池水質調査要領	ダム水源地環境整備センター	1996	517.73
238	経済協力開発機構	世界の水質管理と環境保全	明石書店	2004	517
240	小倉紀雄, 竹村公太郎, 谷田一三, 松田芳夫	水辺と人の環境学 上	朝倉書店	2014	517.21
241	小倉紀雄, 竹村公太郎, 谷田一三, 松田芳夫	水辺と人の環境学 中	朝倉書店	2014	517.21
242	小倉紀雄, 竹村公太郎, 谷田一三, 松田芳夫	水辺と人の環境学 下	朝倉書店	2014	517.21
243	谷田一三/江崎保男, 一柳英隆	ダムと環境の科学 3 エコトーンと環境創出	京都大学学術出版会	2014	517.7
251	吉川敏孝	名水紀行 平成の水100選を訪ねて	水道産業新聞社	2018	452.9
255	平井幸弘	湖の環境学	古今書院	1995	452.93
256	Edward A.Laws	水環境の基礎科学	技報堂出版	1996	519.4
260	三宅泰雄, 北野康共	水質化学分析法	地人書館	1964	519.11
263	大森豊明	水: 基礎・ヘルスケア・環境浄化・先端応用技術	エヌ・ディー・エス	2006	435.44
264	日本河川協会	日本河川水質年鑑	山海堂	2006	328.741
265	金子良	農業水文学	共立出版	1973	452.9
267	岡本芳美	河川管理のための流出計算法	築地書館	2014	517.1

* 付表 1-2 については著者調べのため参考情報とする。

付帯資料 2

付表 2-1 47 都道府県における公共用水域水質測定地点数と EC の測定・公表状況 (2016 年度)

No.	都道府県	河川	湖沼	地点 [N]	測定地点 [n]	割合 %	ECデータ	調査結果・回答	個表Web掲載
1	北海道	316	41	357	20	6%	○	(回)ECあり	あり(PDF)
2	青森県	116	21	137	10	7%	△	(回)県EC測定対象外, 国ECあり	なし(総括表)
3	岩手県	162	4	166	0	0%	×	(回)EC測定対象外	なし(概要)
4	宮城県	142	37	179	0	0%	×	(回)EC測定対象外	なし(速報値)
5	秋田県	113	39	152	69	45%	○	(回)ECあり(個別提供)	なし(概要)→個別提供
6	山形県	77	9	86	0	0%	×	(回)EC測定対象外	なし(概要)→個別提供
7	福島県	134	31	165	0	0%	×	ECなし	あり(PDF)
8	茨城県	138	25	163	0	0%	×	(回)EC測定対象外	あり(Excle)
9	栃木県	128	18	146	123	84%	○	ECあり	なし→有償頒布
10	群馬県	209	13	222	153	69%	○	ECあり	あり(Excle)
11	埼玉県	94	3	97	81	84%	○	ECあり	あり(Excle)
12	千葉県	121	15	136	111	82%	○	ECあり	あり(PDF/CSV)
13	東京都	105	2	107	96	90%	○	ECあり	あり(CSV)
14	神奈川県	87	19	106	96	91%	○	ECあり	あり(Excle)
15	新潟県	131	4	135	97	72%	○	ECあり	あり(Excle)
16	富山県	63	6	69	0	0%	×	(回)EC測定対象外	なし(総括表)
17	石川県	152	8	160	31	19%	○	ECあり	あり(PDF)
18	福井県	58	18	76	0	0%	×	(回)EC測定対象外	あり(HTML)
19	山梨県	47	6	53	53	100%	○	ECあり	あり(PDF)
20	長野県	80	19	99	0	0%	×	(回)EC測定対象外	あり(PDF)
21	岐阜県	124	2	126	102	81%	○	ECあり	あり(Excle)
22	静岡県	117	5	122	0	0%	×	(回)EC測定対象外	あり(PDF)
23	愛知県	103	2	105	89	85%	○	ECあり	あり(Excle)
24	三重県	89	0	89	55	62%	○	ECあり	あり(PDF)
25	滋賀県	31	51	82	30	37%	△	(回)EC測定対象外	なし(概要)
26	京都府	106	0	106	24	23%	○	ECあり	あり(PDF)
27	大阪府	139	0	139	82	59%	○	ECあり	あり(PDF)
28	兵庫県	241	1	242	81	33%	○	ECあり	あり(Excle)
29	奈良県	111	11	122	53	43%	○	(回)ECあり	あり(PDF)
30	和歌山県	81	10	91	59	65%	○	(回)ECあり	あり(PDF)
31	鳥取県	122	25	147	97	66%	○	(回)ECあり(個別提供)	なし(総括表)
32	島根県	151	22	173	48	28%	○	(回)ECあり(個別提供)	なし(総括表)
33	岡山県	87	4	91	0	0%	×	(回)EC測定対象外	あり(PDF)
34	広島県	226	8	234	17	7%	○	ECあり	あり(CSV)
35	山口県	92	13	105	1	1%	△	(回)県EC測定対象外, 国ECあり	なし(総括表)→要情報公開請求
36	徳島県	77	0	77	13	17%	○	ECあり	あり(PDF)
37	香川県	64	0	64	3	5%	△	(回)県EC測定対象外, 国ECあり	なし(総括表)
38	愛媛県	78	8	86	0	0%	×	(回)EC測定対象外	あり(PDF)
39	高知県	111	3	114	34	30%	○	(回)ECあり	あり(PDF)
40	福岡県	385	17	402	227	56%	○	(回)ECあり	なし(総括表)→非公開・要情報公開請求
41	佐賀県	100	12	112	18	16%	○	ECあり	あり(PDF)
42	長崎県	93	2	95	5	5%	○	ECあり	あり(Excle)
43	熊本県	127	4	131	60	46%	○	(回)ECあり(個別提供)	なし(総括表)
44	大分県	112	10	122	55	45%	○	(回)ECあり	なし→個別提供
45	宮崎県	190	1	191	0	0%	×	(回)EC測定対象外	あり(PDF)
46	鹿児島県	88	11	99	21	21%	○	ECあり	あり(PDF)
47	沖縄県	93	0	93	27	29%	○	ECあり	あり(PDF/Excel)
合計		5,811	560	6,371	2,141	34%	×12,△4		