# 河川水と地下水の交流解析と水質形成機構の解明
## ～八坂川を事例として～

九州大学大学院　工学研究院　環境社会部門

准教授　広城　吉成

# 河川水と地下水の交流解析と水質形成機構の解明

## ～八坂川を事例として～

広城　吉成

### 1. 背景と目的

飲料水は，生活をする上で必要不可欠なものである．清浄にして豊富低廉な水を供給するために浄水場では PAC(ポリ塩化アルミニウム)などの凝集剤が注入され，その注入率を決めるために定期的に原水を用いてジャーテストが実施されている．

本研究で調査対象としたのは，杵築市浄水場の地下水である．杵築市浄水場は大分県北東部，国東半島の南側に位置しており，原水として八坂川の河川水と地下水を利用している．八坂川は，大分県北西部の日出町の尼蔵嶽を水源とし，久木野尾川を合わせながら北東に流れ，立石川と合流してからは，南東に方向を転じて別府湾に注ぐ，流域面積 147.4km$^2$，幹線流路面積 29.8km の二級河川である．河川水は主に，農業用水，水道用水，工業用水として利用され，近年の渇水被害は無く安定した水利用がなされている．

杵築市浄水場より，無水降水期間に濁度が上がっていないのにも関わらず，PAC の注入率が増加すると報告があった．これは高濃度のイオン状シリカを含む地下水が浄水場原水である河川水に流れ込んできていること，また，地下水を浄水場原水に混ぜ，利用していることが原因だと推察された．

そこで，本研究ではまず杵築市浄水場で採水した地下水の水質を分析し，地下水の混合率と PAC 注入率との関係性を調べた．次に，八坂川河川水中のラドンの濃度を測定することで，地下水と八坂川の交流解析を行った．また，杵築市浄水場で採水した地下水を利用して実際にジャーテストを行い，ジャーテスト後の上澄水の濁度を基にイオン状シリカ濃度の変化に伴う PAC の最適注入率を求め，イオン状シリカと PAC との関係性を明らかにすることを目的とした．

### 2. 実験概要

#### 2.1. 地下水の水質特性と PAC 注入率の実態調査

##### 2.1.1. 調査方法

表 1 は，杵築市浄水場の地下水水質である．地下水は2016年9月26日と2016年12月19日に採水し，2016 年 12 月 19 日に採水した地下水はイオン状シリカの濃度のみを測定した．次に，図 1 は杵築市浄水場運転月報を基に 1 日の PAC 注入率，着水井における濁度，原水中の地下水の混合割合との関係をまとめたもので，どのような場合に PAC 注入率が高くなっているのか検討した．

表 1 杵築市浄水場地下水分析結果

| 項目名 | 分析結果 |
|---|---|
| 炭酸水素イオン | 99 |
| 塩化物イオン | 5 |
| 硝酸態窒素 | 0.11 |
| 硫酸イオン | 1未満 |
| イオン状シリカ | 85※ |
| ナトリウム | 10 |
| カリウム | 3.3 |
| カルシウム | 12 |
| マグネシウム | 9.3 |

単位：mg/L

※12 月 19 日に計測した時は 83mg/L

### 2.1.2. 結果

炭酸水素イオンとイオン状シリカ濃度が他の分析項目の濃度と比べ高いことがわかった(表 1). 杵築市浄水場が表流水の取水を行っている地点での河川水中のイオン状シリカ濃度の平均は 28mg/L であった. 地下水中イオン状シリカ濃度は，83，85mg/L であったので，河川水のそれと比べイオン状シリカが約 3 倍高いことがわかった．また， 2016 年 7，8 月の期間に，濁度が上がっていないにもかかわらず杵築市浄水場での PAC 注入率が高かった(図 1)．また，原水中の地下水の混合割合が高い時に PAC 注入率が高くなっていたことが観察された．これはイオン状シリカ濃度の高い地下水が多く混合されることで，原水中のイオン状シリカ濃度が上がり，それが PAC の働きを妨げたと考えられる．また，7 月中旬の期間に徐々に PAC の注入率が上がっているのは，降水が数日間なかったことにより河川水量が減少し，イオン状シリカが濃縮され濃度が高くなったことが原因と考えられる．

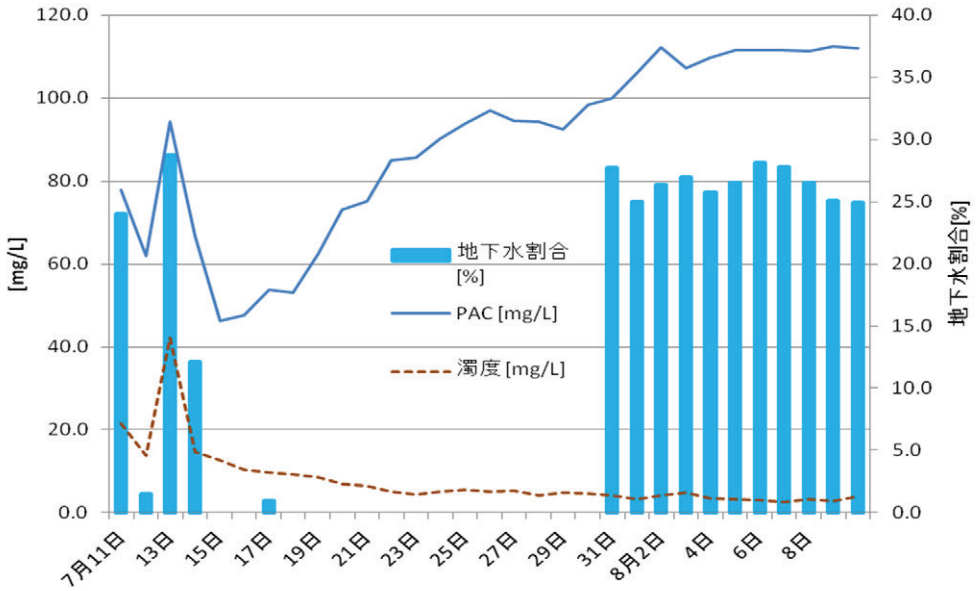


図 1　2016 年 7，8 月の地下水混合率と PAC 注入率(杵築市浄水場)

## 2.2. ラドン濃度測定による交流解析調査

### 2.2.1. 調査方法

ラドンは化学的に不活性な希ガス元素で，堆積物中に存在するラジウムが起源となっている．地下水と表流水中ではラドン濃度に大きな差があり，水文学的トレーサーとしてラドンは優れた特性を持っている．そこで今回は，八坂川の河川水を 8 か所(図 2 ①~⑧)で採水を行い，液体シンチレーションカウンターによる抽出法でラドンの濃度を測定した．

### 2.2.2. 結果

ラドン濃度測定結果を表 2，調査地点を図 2 に示す．ラドン濃度は，ほとんどの地点で検出下限値未満であった．立石川の河川水である③，④地点でラドン濃度が検出されたが，八坂川との合流直後である⑤地点では検出下限値未満となっており，非常に少量であることがわかった．

表 2　ラドン濃度測定結果

| | Rn (Bq/L) |
|---|---|
| ① | 検出下限値未満 |
| ② | 検出下限値未満 |
| ③ | 0.259 |
| ④ | 0.148 |
| ⑤ | 検出下限値未満 |
| ⑥ | 検出下限値未満 |
| ⑦ | 検出下限値未満 |
| ⑧ | 検出下限値未満 |

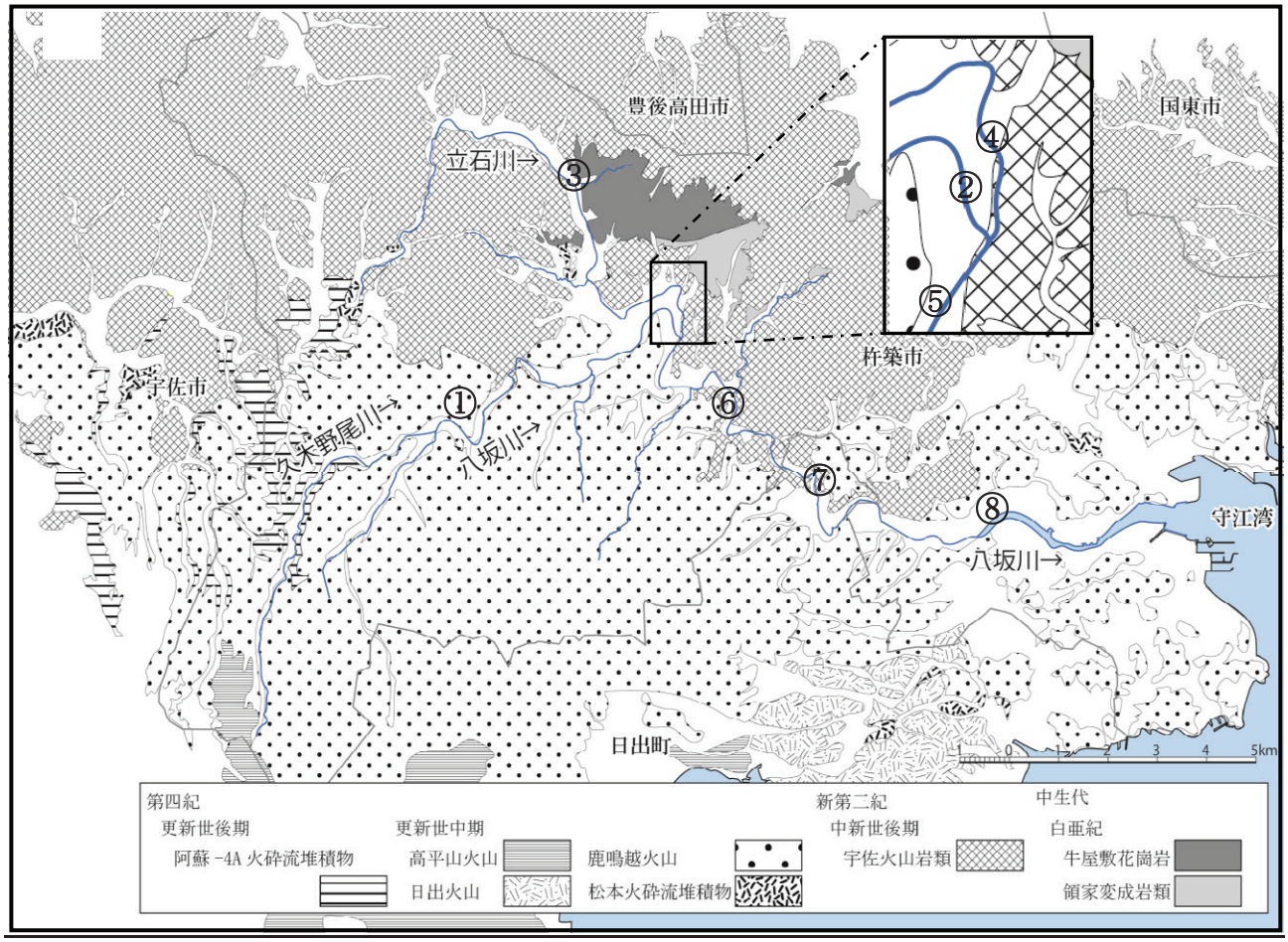


図 2　八坂川流域の地質概略図と Rn 測定地点

## 2.3. イオン状シリカ濃度の変化に対する PAC の最適注入率実験

### 2.3.1. 実験方法

図 3 に実験手順，表 3 に実験条件を示した．杵築市浄水場の地下水に純水を混ぜて希釈することでイオン状シリカの濃度を調整し，これらを原水とした．原水にカオリンを入れ，濁度を 15 度に調整し，その後，水道施設設計指針(2012)を参考に決定した撹拌速度，撹拌時間，静置時間に従いジャーテストを行った．実験終了後は濁度，pH，アルカリ度を測定した．なお，イオン状シリカ濃度 83，85mg/L 以外の濃度の原水は 2 回ずつジャーテストを行った．

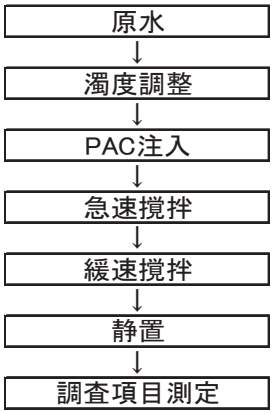


図 3　実験手順

表 3　実験条件

| | | | |
|---|---|---|---|
| イオン状シリカ濃度(mg/L) | | | 0,20,30,60,83,85 |
| 水温(℃) | | | 20 |
| アルカリ度(mg/L) | | | 20以上 |
| pH | | | 6.0～8.0 |
| 濁質 | 種類 | | カオリン |
| | 濁度(度) | | 15 |
| 凝集剤 | 種類 | | PAC |
| | 注入率(mg/L) | | 10～120 |
| 撹拌 | 急速 | 回転数(rpm) | 150 |
| | | 時間(min) | 4 |
| | 緩速 | 回転数(rpm) | 40 |
| | | 時間(min) | 15 |
| 静置時間(min) | | | 15 |

### 2.3.2. 結果

イオン状シリカ濃度が 60mg/L 以下の原水(図4~6)では，PAC 注入率が 20mg/L ですべての濁度が 1.0 度以下になっており，PAC の注入率が低い場合でも正常に PAC が働くことが観察できた．一方，イオン状シリカ濃度が 83,85mg/L の原水では PAC 注入率が 10，20mg/L では濁度があまり下がらず，PAC の働きが妨げられていることが観察できた．また，低濁度域では，濁度基準を 0.1 度以下に設定すると，その基準に初めて達する PAC 注入率は，イオン状シリカ濃度が高くなるにつれて多くなることがわかった．

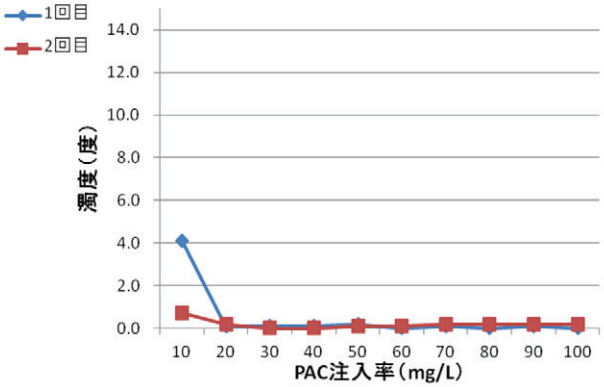

図 4　イオン状シリカ 0mg/L

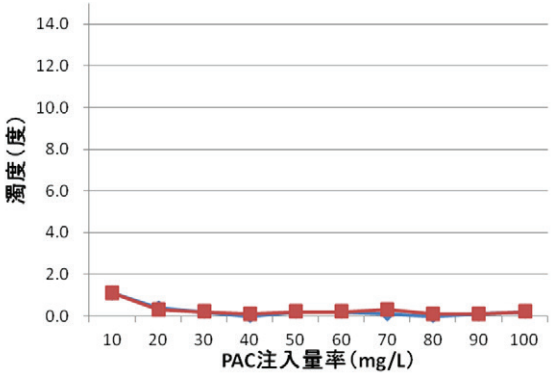

図 5　イオン状シリカ 20mg/L

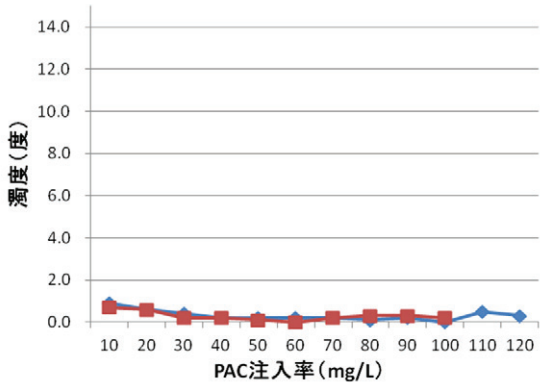

図 6　イオン状シリカ 60mg/L

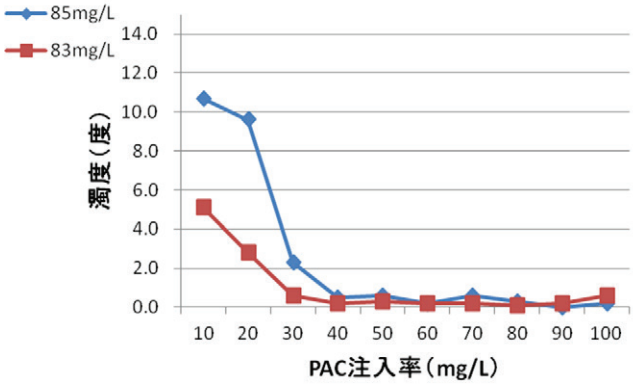

図 7　イオン状シリカ 83，85mg/L

### 3. 結論

本研究により，杵築市浄水場の地下水はイオン状シリカ濃度が高いことがわかった．また，杵築市浄水場では原水中の地下水の混合割合が高い時に PAC の注入率が高くなっていることがわかった．これは地下水混合により，イオン状シリカ濃度が高くなったことが原因だと考えられる．ラドン濃度測定による交流解析調査からは，立石川の河川水中から微量のラドンが検出されたが，ほとんどの地点で検出下限値未満であり，ラドン濃度測定によって交流解析を行うことはできなかった．ジャーテストの結果からは，イオン状シリカ濃度が 83，85mg/L である場合の PAC 注入率が 10，20mg/L の時にイオン状シリカが PAC の働きを妨げる現象がはっきりと確認できた．また，低濁度域でグラフを詳細に見ていくと，0.1 度以下に初めてなった時の PAC 注入率はイオン状シリカ濃度が高くなるにつれ多くなっており，イオン状シリカ濃度が 60mg/L 以下でもイオン状シリカが PAC の働きを妨げていることが考えられる．

杵築市浄水場では濁度管理を 0.03 度以下になるよう PAC を注入している．本研究で使用した濁度計は小数点第一位までしか計測できない濁度計であったので，小数点第二位まで計測できる濁度計で濁度条件を厳しくして，同様の実験を行えば PAC 注入率に差異が見られるかを今後確認したい．