

## 1.2 水利用への影響と適応に関する研究

### 1.2.1 気候変動に対応した渇水リスク増加に対応した下水処理水の活用方策に関する研究

気候変動による水の利用可能量が減少する可能性が指摘されており、下水処理水再利用の下水処理水は水量・水質の両面で水環境を形成する重要な要素となっている(国土交通省 2009)。再生水の利用増加を進めるうえで農業用水や地下水涵養等をはじめとした用途の拡大が必要とされており、それらの利用における管理方策を確立することが求められている。

香川県多度津町では、金倉川流域下水道の処理水を町の水環境処理施設で高度処理した親水用水(凝集ろ過+活性炭+塩素消毒)が親水公園に供給され、公園内の池から地下に浸透している。夏季には農業用水の安定供給のため、親水用水の一部が農業用ため池に送水されている。

2008年度から2011年度にかけて、再生水の涵養利用、農業用水利用における再生水量・水質の管理方策の確立を目的に、香川県多度津町において地下水涵養地周辺の井戸及び農業用ため池等の水質分析を行い、再生水の地下浸透が地下水質に与える影響等を評価するための手法について検討を行った。

#### 1.2.1.1 多度津町における下水処理水および地下水水質調査の概要

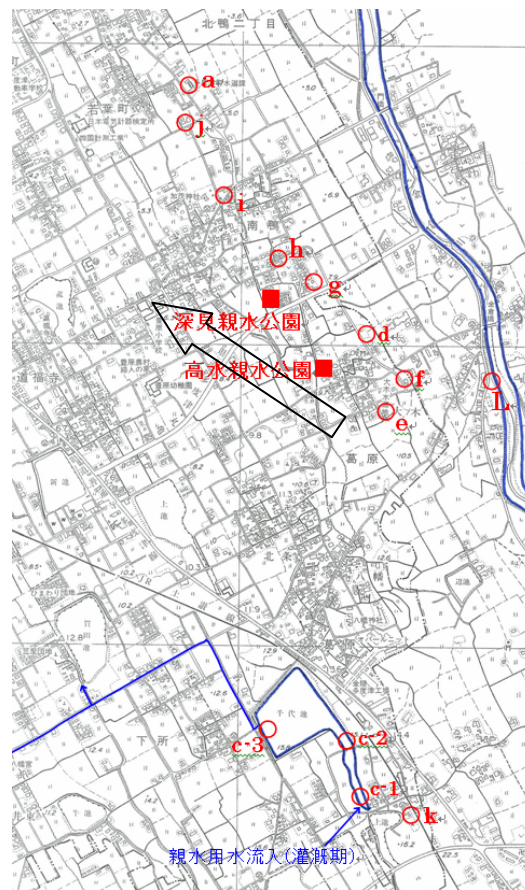


図-Ⅱ.1.2.1.1 調査対象の位置図

図-Ⅱ.1.2.1.1を参照いただきたい。香川県多度津町では、金倉川流域下水道の処理水を町の水環境処理施設(図中a)で高度処理した親水用水(活性炭+塩素処理)を用いて、地下水位低下の解消を目的として、図中の2つの親水公園より通年に渡って地下水涵養が行われている。水量は高水親水公園から2,000m<sup>3</sup>/日、深見親水公園から450m<sup>3</sup>/日となっている。これらの親水公園からの涵養は2004年に開始され、高水親水公園からの涵養は2011年3月から中断している。また、夏期の灌漑期には農業用水の安定供給のため、再生水が農業用ため池(図中c)に送水されている。本調査の目的は再生水の地

下への浸透が地下水（主として浅層地下水）の水質に与える影響を評価する方法について検討することである。

多度津町では水道用水源として県用水受水のほかに浅井戸および深井戸から取水している。本報告では、これらの井戸のうち初回の調査で地下水涵養の影響があると考えられた浅層地下水を対象とした調査結果を報告する。サンプリングは、図-II.1.2.1.1に示した多度津町内に分布する浅井戸を中心に実施した。また、図-II.1.2.1.1のLでは、伏流水がこの地域の地下水となっていると考えられる金倉川河川水をサンプリングした。採取したサンプルは現地で水温、pH、外観を測定した。その後、一般細菌、SS、BOD、 $PO_4\text{-P}$ 、T-P、 $NH_4\text{-N}$ 、 $NO_2\text{-N}$ 、 $NO_x\text{-N}$ 、T-N、EC、濁度、 $Cl^-$ の分析を行った。以上の項目に加えて、地下浸透後の再生水のトレーサーとなりうる項目として、微量化学物質（カフェイン、カルバマゼピン、クロタミトン）と窒素同位体比の分析を行った。対象とした微量化学物質は人由来で農業排水には含まれず、疎水性が低いいため土壌への吸着が少なく、ng/Lのオーダーでは人体や生物への毒性は低いとされている。また、窒素同位体比（ $\delta^{15}N$ ）は発生源により異なった値を示すことが分かっており、硝酸態窒素の $\delta^{15}N$ は、化学肥料・降水由来は低い値を、人し尿・家畜糞尿で高い値を、下水処理水はその中間範囲を示すことが報告されている。たとえば大和田ら(2003)によると、下水処理水で8~15‰、降水で-8~2‰、化学肥料で-7.4~6‰、家畜糞尿で10~22‰程度である。以上のことから、これらの項目は再生水による地下水環境への影響範囲を知るための評価指標となりうると思われる。

平成21年度より再生水および浅井戸等の水質の調査を開始し、2011年度は高水親水公園からの涵養が停止された後の2011年9月（灌漑期）および12月（非灌漑期）に調査を実施した。

### 1.2.1.2 結果

#### a) $NO_x\text{-N}$ （硝酸態窒素および亜硝酸態窒素）

地下水の涵養に利用されている親水用水の $NO_x\text{-N}$ 含有量は全調査期間を通じて4.5~8.2ppm、金倉川の河川水では0.5~3.0ppmであった。浅井戸d~kでは3.5~7.0ppmと河川水に比較して全体的に高い値を示したが、涵養池からの距離との明確な相関はみられなかった。既往の調査（濱崎ら2006）より地下水の流動方向はおおむね図-II.1.2.1.1に示した矢印の方向であると推測されるが、下流ほど $NO_x\text{-N}$ 濃度が高くなる傾向があった。なお、水道水質基準では硝酸態窒素と亜硝酸態窒素の合計が10mg/L以下とされているが、今回調査した試料はいずれもこの基準を下回っていた。

#### b) 窒素同位体比

本調査での $\delta^{15}N$ 分析結果のうち、親水用水、涵養池周辺の浅井戸、および金倉川河川水の測定結果を図-II.1.2.1.2に示す。涵養池下流側の浅井戸h、i、jで他の浅井戸より高い10‰前後となり再生水の影響が示唆された。一方、金倉川河川水もh、i、j以外の浅井戸より $\delta^{15}N$ が高い10.4‰という結果であった。金倉川は多度津町より15km程度東南のまんのう町に端を発し、満濃池導水路（土器川より導水）と合流した後、満濃池を経て多度津町に至る。この金倉川最上流部および、満濃池より2km程度下流側の金倉川河川水についても $\delta^{15}N$ を測定した。この結果、前者は2.8‰、後者は7.6‰となっており、土器川あるいは満濃池周辺からのし尿を含む排水、あるいは畜産排水等の流入がある可能性が示された。高水親水公園付近の浅井戸f、h、i、jの $\delta^{15}N$ の経時変化をグラフにしたのが図-II.1.2.1.3である。浅井戸j、hでは2010年9月の調査から低下傾向にあるが、浅井戸iでは平成23年12月の調査の際に $NO_x\text{-N}$ 濃度が親水用水よりわずかに高くなっていたのと同時に $\delta^{15}N$ も17‰と高い値を示しており、傾向が異なっている。このことから、浅井戸iは再生水による地下水涵養だけでなく、し尿を含む何らかの排出源の影響を受けている可能性が示唆された。

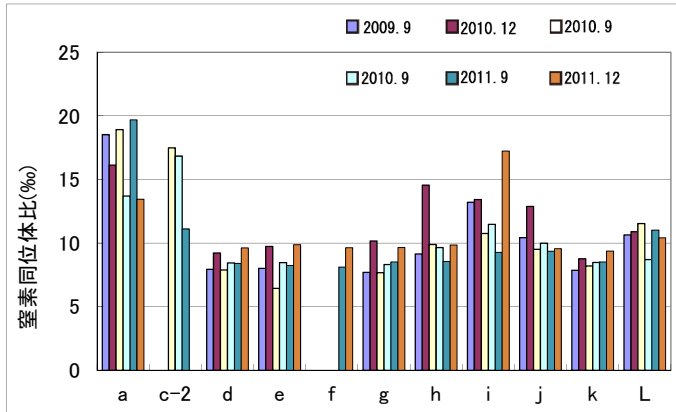


図-Ⅱ.1.2.1.2 窒素同位対比測定結果

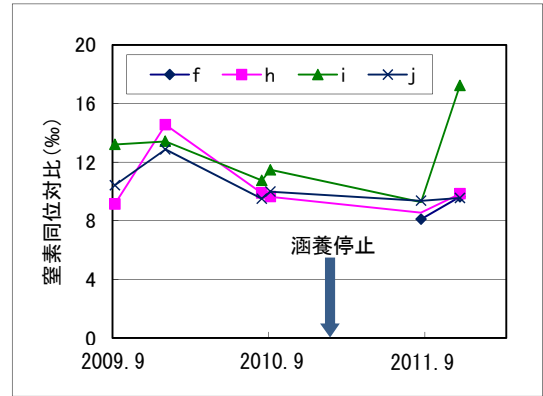


図-Ⅱ.1.2.1.3 涵養池周辺浅井戸の窒素同位体比

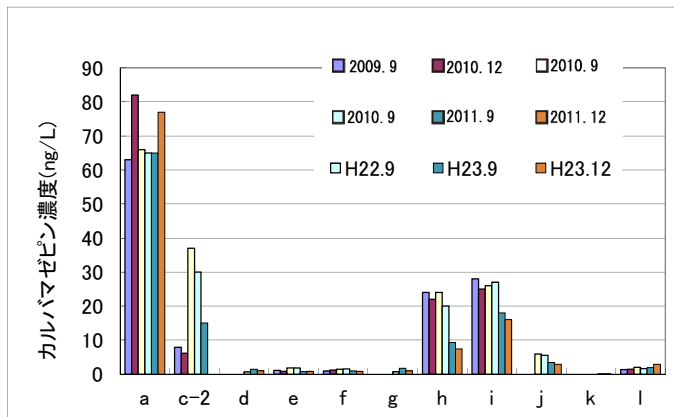


図-Ⅱ.1.2.1.4 カルバマゼピン濃度測定結果

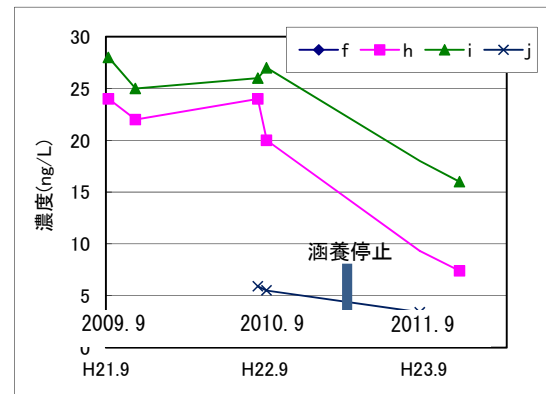


図-Ⅱ.1.2.1.5 涵養池周辺浅井戸のカルバマゼピン濃度経時変化

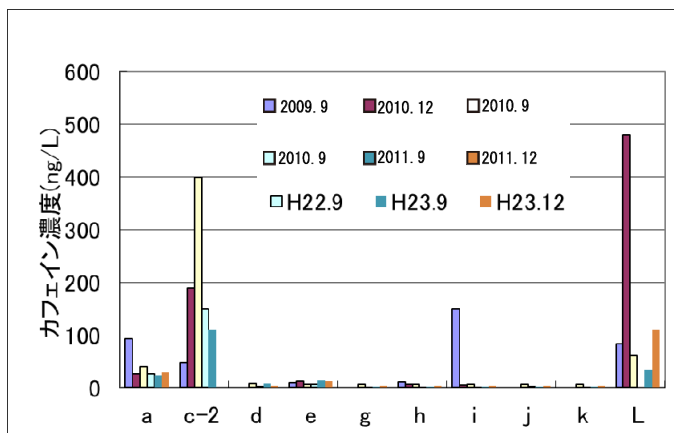


図-Ⅱ.1.2.1.6 カフェイン濃度測定結果

※千代池(c-2)では窒素同位対比、カフェイン、カルバマゼピンともに2010年9月、12月、2011年9月のみ測定を実施。fでは2011年度のみ窒素同位対比の測定を実施。

c) 微量化学物質

親水用水、涵養池周辺の浅井戸、および金倉川河川水中のカルバマゼピン測定結果を図-Ⅱ.1.2.1.4に示す。カルバマゼピンは親水用水の他、涵養地点下流のh、i、jの3つの浅井戸で比較的高い値を示した。なお、千代池の入り口から出口の3カ所で測定した濃度はほぼ一定で、環境中で分解されにくいことが示唆された。クロタミトンは親水用水と千代池では検出されたものの、千代池流出地点では流入地点の2/3程度まで減少し、浅井戸では定量下限値以下であったことから、カルバマゼピンと比較して環境中での分解性が高い、あるいは土壌へ吸着されたことが示された。再生水の影響範囲については、他の浅井戸より比較的高濃度のカルバマゼピンが検出され $\delta^{15}\text{N}$ も高い浅井戸は、涵養池の地下水流下方向約900m以内の範囲にあった。一方で涵養池からほぼ同じ距離にある別の浅井戸gでは微量化学物質濃度が検出限界以下となった。このことから、再生水は地下水の流下方向に伝播しており、直角方向への拡散は極めて遅い可能性が考えられる。

また、3年間のカルバマゼピンの測定結果を比較すると2011年に涵養地点から地下水流動方向の地点での濃度が過年度に比べて低下している(図-Ⅱ.1.2.1.5)。これは、高水親水公園での地下水涵養が停止したことの影響とみられる。親水用水、涵養池周辺の浅井戸、および金倉川河川水中のカフェインの濃度を測定した結果、涵養水源となっている親水用水中での濃度が定量下限値以下である一方、河川水や、別途調査した深井戸からは検出された(図-Ⅱ.1.2.1.6)。このことから、再生水以外にカフェインの流入源がある可能性があり、地下水中の再生水の影響をみるための指標とすることは難しいと考えられる。

以上より、今回調査対象とした微量化学物質の中では、カルバマゼピンが最も地下水への再生水の影響を評価するための指標として適していた。 $\delta^{15}\text{N}$ 単独の結果では再生水とし尿あるいは畜産排水等の影響と判別しにくい、カルバマゼピン等と併せて行うことでより正確な評価を行うことができると考えられる。

## 参考文献

- 大和田茂人・高津有美・福田行剛、山竹定雄 2003:硝酸性窒素発生源における窒素安定同位対比の特性、平成15年度愛媛県衛環研年報、pp.46-49
- 国土交通省：下水処理水の再利用のあり方を考える懇談会「報告書 新たな社会的意義を踏まえた再生水利用の促進に向けて」2009 (<http://www.mlit.go.jp/common/000037487.pdf>)
- 濱崎修・大八木豊・辻倉裕喜・河原能久 2006.:丸亀平野における水循環系の調査と解析、水工論文集 第50巻、pp265-270