

6. 土壌・地下水汚染が水域に及ぼす影響に関する研究

下水処理研究室 室長 南山 瑞彦
 研究官 山縣 弘樹

1. 目的

揮発性有機化合物（VOC）、重金属、硝酸・亜硝酸性窒素等による地下水汚染が問題となっており、平成 14 年には土壌汚染の状況の把握、土壌汚染による人の健康被害の防止に関する措置に関する土壌汚染対策法が施行された。国土交通省は、湖沼等の閉鎖性水域や河川におけるダイオキシン類・環境ホルモン等の化学物質による汚染実態について、近年精力的に調査や対策マニュアルの整備等を行ってきたが、地下水を経由した化学物質等の水域への影響については未解明の部分が多く残されている。

このため、土壌・地下水汚染のメカニズム解明や影響評価を行うとともに、有害化学物質等に関する情報の河川管理への活用方法を検討し、さらに関係者（官・民・事業者等）への情報提供方法や、リスクコミュニケーション方法を確立し、国民の不安を取り除き、リスクを予防・回避する体制・システムを作る必要がある。

そこで本研究では、水域に影響を及ぼすおそれのある土壌・地下水汚染の管理・予防措置の提案を行うための基礎的な知見として、調査対象物質を選定したうえで、地上から地下水に至る水と化学物質等の移動に関する知見の収集を行うことを目的とする。なお本研究は河川環境研究室と連携して実施している。

2. 方法

2.1 調査対象物質の選定

本研究で調査を行う対象として地下水を経由して水域へ影響を及ぼす可能性のある化学物質等を以下の観点から選定した。

(1) 土壌汚染対策法における溶出量基準物質

平成 14 年に施行された土壌汚染対策法では、汚染地下水等の摂取による人の健康への影響の観点から、土壌汚染に係る環境基準項目¹⁾に準拠し、第 1 種特定有害物質（VOC11 物質）、第 2 種特定有害物質（重金属等 9 物質）、第 3 種特定有害物質（農薬等 5 物質）について溶出量基準を設けている。これら化学物質を調査対象とした。

(2) 硝酸性窒素及びアンモニア性窒素

硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素は、古くから地下水からの検出事例は比較的多く、人の健康への影響（メトヘモグロビン血症）の観点から平成 11 年に地下水の水質汚濁に係る環境基準項目に指定された。しかし、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素は、土壌での蓄積性がないこと、他の形態への変化や土壌・気象条件による影響が大きいこと、農用地では農作物によって土壌中から吸収される硝酸性窒素の量が作物種や品種によって大きく異なること等の理由により²⁾、一律の土壌環境基準が設定されていない。本研究では、土壌汚染対策法における溶出量基準対象ではないものの、地下水環境基準の対象に含まれていることから、硝酸性窒素を調査対象に含めた。また人畜排水に含まれるアンモニア性窒素についても、硝化により硝酸性窒素へ変化するため、調査対象に含めることとした。

(3) 水生生物保全に関する環境基準物質

平成 15 年に水生生物保全に関する環境基準（生活環境項目）として全亜鉛が指定された。人の健康への影響の観点から定められている土壌や地下水の環境基準の対象ではないものの、地下水から水域への移行を考慮し、調査対象に含めた。

(4) PRTR において土壌への排出及び事業所敷地内の埋立処分量の多い上位物質

平成 13 年から PRTR 法が施行され、環境基準項目を含む 354 種類の化学物質について、一定以上の従業員数及び取扱量を有する事業所からの土壌への排出量及び事業所敷地内の埋立処分量等が届出、公表されるようになった。事業所内の土壌への届出排出量の上位 10 物質は、エチレングリコール、スチレン、ふっ化水素及びその水溶性塩、バリウム及びその水溶性化合物、モリブデン及びその化合物、キシレン、ビスフェノール A 型エポキシ樹脂、五酸化バナジウム、トルエン、ジウロンの順となっており、主に燃料小売業において凍結防止剤として土壌に排出されたエチレングリコールを除き、これらの物質は配管や容器等からの漏洩により事業所内の土壌へ漏出したものと想定されている。また、事業所内の埋立処分の届出量の上位 10 物質は、鉛及びその化合物、砒素及びその無機化合物、マンガン及びその化合物、クロム及び三価クロム化合物、ふっ化水素及びその水溶性塩、カドミウム及びその化合物、ニッケル化合物、テレフタル酸ジメチル、セレン及びその化合物、銅水溶性塩の順となっており、主に非鉄金属製造業、鉄鋼業、金属鋳業等からのス

ラグや鉛さい、排ガスダスト等に含まれ事業所内で埋立処分されたものと想定されている³⁾。これらのうち、エチレングリコールについては、環境基準項目ではないものの、事業所内の土壌への排出量が最も多いため、地下水から水域への化学物質の移動を追跡するという観点から、調査対象に含めた。

(5) その他

環境省が平成14年度化学物質環境汚染実態調査の暴露量調査の対象とした6物質のうち、ペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) は、反復投与毒性が極めて強く、水生生物に対する急性毒性が強いとされ、全国20地点の水域のうち全箇所検出された⁴⁾。また住民272人の血清を分析したところ、すべてのサンプルからPFOSが検出され、年齢とともに上昇する傾向がみられたことから、人の健康影響の有無についても検討する必要があるとされている⁵⁾。しかし、地下水中からの検出に関する知見はないため、存在状況を把握するため、PFOSについても調査対象に含めた。

また、調査対象流域(後述)において実際に使用・排出量が比較的多いと推定される物質を横浜国立大学大学院浦野・亀屋研究室・エコケミストリー研究会⁶⁾より引用して把握した結果を基に、農薬以外の化学物質としてヒドラジン、ポリリンエチレンアルキルエーテル (C=12~15)、農薬としてD-D (1,3ジクロロプロペン) を調査対象に含めることとした。

2.2 地下水中の化学物質の存在量に関する実態調査

地下水の水域への影響の観点から、東京都多摩川中流部の永田地区及び茨城県谷田川流域を調査対象地域に選定した。

多摩川の永田地区(図-1)は右岸があきる野市、左岸が福生・羽村市に接する延長約1.6kmの区間である。右岸側は草花丘陵と呼ばれる段丘崖に面しており、ここから湧水や多摩川本川の伏流水が高水敷付近に湧出し、湿地を形成している。河川生態学術研究会が1996~98年に同地域で実施した調査⁷⁾では、地下水について以下のような知見が示されている。

- ・ 1998年5月の調査では、右岸・左岸からの地下水の多摩川への直接流入量は本川流量の約3%であった。
- ・ 河川敷内の地下水中のCaとMgイオン濃度は河川水に比べて高く、その濃度から多摩川河川水が浸透した水と考えられる「低濃度の河川敷内地下水」と、低濃度の地下水が河川敷内に滞留し濃度が増加したと考えられる「高濃度の河川敷内地下水」とに分けられ、「高濃度の河川敷内地下水」は草花丘陵からの湧水も混合していると考えられる。
- ・ 塩化物イオンの調査により、低濃度の河川敷内地下水は400mを10日前後、高濃度の河川敷内地下水は400mを約50~100日で流下すると考えられる。

そこで本調査では、伏流水、丘陵からの湧水、河川水の化学物質等の実態把握のため、国土交通省京浜河川事務所によって設置された観測井のうちG-6(低濃度の河川敷内地下水)、G-7(高濃度の河川敷内地下水)と自然湧水地点SP-7(草花丘陵地下水)、多摩川河川水において2005年2月に採水、分析した。採水時の地表面から地下水面までの深さは0.20m(G-6)、0.38m(G-7)であった。

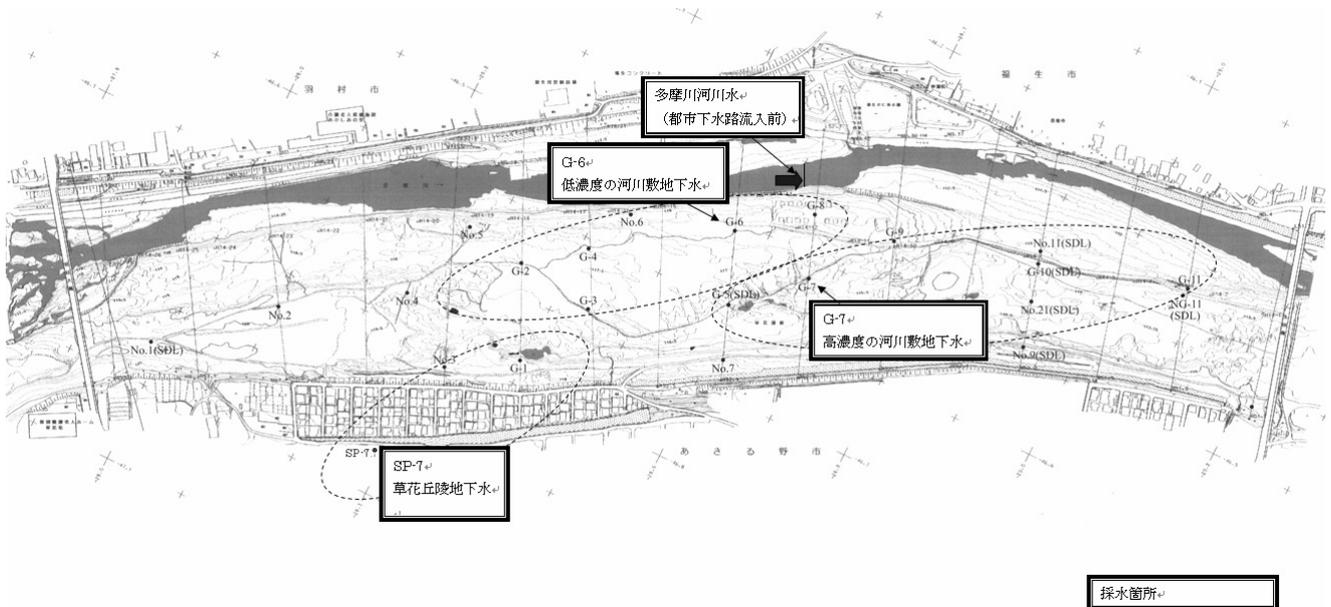


図-1 多摩川永田地区(河川生態学術研究会⁷⁾を基に作成)

一方、茨城県谷田川流域（図-2）はつくば市に位置し、主要な河川として谷田川、西谷田川、稲荷川があり、牛久沼に流入している。流域は筑波・稲敷台地にあり、河川沿いに幅 100～200mの谷底平野を形成している。建設省土木研究所都市河川研究室（当時）が実施した地下水調査⁸⁾によれば以下のような知見が得られている。

- ・ 流域の土地利用は畑・農地 33%、水田 14%、宅地 16%、山地・荒地 16%（1994 年）となっており、つくば市においては畑地のうち 79%が芝である。
- ・ 水循環解析の結果、地下水の河川への流出が低水流量に対して約 6 割に達し、地下水質の影響が河川に現れやすい。

そこで本調査では、畑・農地や水田における地下水中の化学物質等の実態を把握するため、茨城県によって設置された観測井のうち、W2（畑）、W3（畑）、W8（水田）、W9（芝）において 2005 年 2 月に採水、分析した。採水時の地表面から地下水面までの深さは、2.00m（W2）、5.15m（W3）、2.10m（W8）、5.15m（W9）であった。

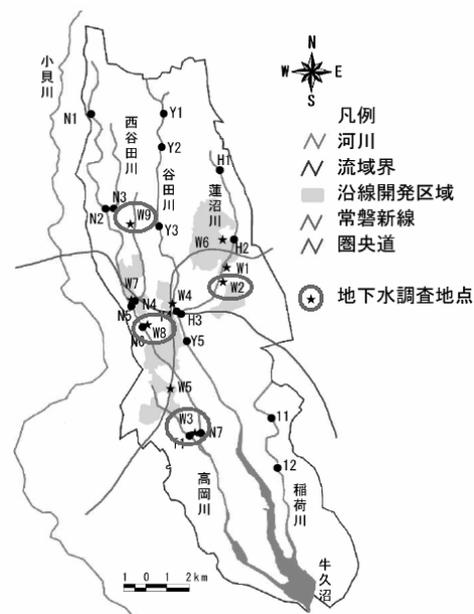


図-2 茨城県谷田川流域

3. 結果及び考察

永田地区及び谷田川流域での地下水現地観測の結果を表-1 に示す。検出された物質のうち土壤汚染対策法対象物質については、いずれも溶出量基準を下回る濃度であった。

表-1 地下水中の化学物質等の測定結果（多摩川永田地区及び茨城県谷田川流域、2005 年 2 月）

測定項目	分析法	定量限界	単位	東京都多摩川流域永田地区				茨城県谷田川流域			
				G6	G7	SP7	多摩川 河川水	W2	W3	W8	W9
1 エチレングリコール	GC-MS	0.1	µg/l	8.2	2.2	2.6	1.4	1.4	1.4	1.4	0.2
2 鉛及びその化合物	ICP発光分析法	0.001	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	0.001	tr	ND
3 マンガン及びその化合物	ICP発光分析法	0.01	mg/l	tr	0.11	tr	tr	tr	tr	tr	tr
4 砒素及びその無機化合物	原子吸光分析	0.005	mg/l	ND	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
5 フッ化水素及びその水溶性塩	アリザリンコンプレクソン法	0.05	mg/l	tr	tr	0.08	tr	ND	ND	ND	ND
6 カドミウム及びその化合物	ICP発光分析法	0.001	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
7 全クロム	ICP発光分析法	0.01	mg/l	tr	tr	tr	0.05	tr	tr	tr	tr
8 全シアン	吸光光度法	0.1	mg/l	ND	ND	tr	tr	tr	tr	tr	tr
9 総水銀	原子吸光分析	0.0005	mg/l	ND	ND	tr	ND	ND	ND	ND	ND
10 PCB	ECD	0.0005	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11 全亜鉛	ICP発光分析法	0.01	mg/l	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	tr	0.01	0.02
12 四塩化炭素	GC-MS	0.0005	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
13 1,2-ジクロロエタン	GC-MS	0.0004	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
14 1,1-ジクロロエチレン	GC-MS	0.002	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15 シス-1,2-ジクロロエチレン	GC-MS	0.004	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
16 1,3-ジクロロプロペン	GC-MS	0.0002	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
17 ジクロロメタン	GC-MS	0.002	mg/l	tr	ND	0.005	tr	0.019	ND	tr	ND
18 テトラクロロエチレン	GC-MS	0.0005	mg/l	tr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
19 1,1,1-トリクロロエタン	GC-MS	0.001	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
20 1,1,2-トリクロロエタン	GC-MS	0.0006	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
21 トリクロロエチレン	GC-MS	0.002	mg/l	tr	tr	tr	tr	tr	tr	ND	tr
22 ベンゼン	GC-MS	0.001	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
23 チウラム	HPLC	0.0006	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
24 シマジン	GC-MS	0.003	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
25 チオベンカルブ	GC-MS	0.002	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
26 有機リン化合物	GC法	0.1	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
27 硝酸性窒素	吸光光度法	0.01	mg/l	1.39	0.12	3.26	0.62	12.58	12.96	0.03	12.66
28 アンモニア性窒素	吸光光度法	0.01	mg/l	tr	0.02	0.01	tr	tr	0.11	0.01	0.01
29 セレン	原子吸光分析	0.001	mg/l	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
30 ホウ素	ICP発光分析法	0.01	mg/l	0.02	tr	0.06	0.01	0.02	0.01	0.02	tr
31 ホリオキシエチレンアルキルエーテル(C=12~15)	GC-MS	1	µg/l	ND	ND	ND	ND	tr	2	tr	ND
32 ヒドラジン	GC-MS	0.01	µg/l	0.02	0.09	0.01	0.34	0.26	0.29	tr	0.33
33 D-D(1,3ジクロロプロペン)	GC-MS	0.0002	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
34 PFOS(パーフルオロオクタフルホン酸塩)	LC/MS	0.00005	µg/l	0.00052	0.00043	0.0024	0.00058	0.00018	0.00028	0.00023	0.00014

(ND: 非検出, tr: 定量下限値未満)

(1) 全てまたはほとんどの箇所では非検出の物質

カドミウム及びその化合物、PCB、四塩化炭素や、農薬の基準項目（チウラム、シマジン、チオベンカルブ、有機リン化合物）、D-Dについては全ての箇所では検出されなかった。

D-Dについては農地での殺虫剤としての使用量が多いと考えられる⁶⁾にもかかわらず農地の多い谷田川流域で非検出だったのは、D-Dが土壌に散布された後、土壌中でガスとなり、空気中に放出されるためと考えられる。

また VOC についてはジクロロメタン、トリクロロエチレンが多摩川河川水、多摩川伏流水、草花丘陵湧水、谷田川流域地下水の一部で検出されたが、定量下限値未満が多く非常に低濃度であった。

(2) 全ての箇所では検出された物質

全箇所では検出された物質は、エチレングリコール、全亜鉛、硝酸性窒素、アンモニア性窒素、ヒドラジン、PFOS であった。なおマンガン及びその化合物、全クロム、セレン、ホウ素についても全箇所では検出されたが、ほとんど定量下限値未満あるいは定量下限値を若干超える程度の微量であった。

硝酸性窒素については、茨城県谷田川流域の W2,W3（いずれも畑）,W9（芝）で 10mg/l 以上と地下水環境基準値（10mg/l）を超過しており、施肥による影響と考えられた。また W9（水田）では低濃度であり、施肥量が少ないためと考えられた。永田地区の SP7（草花丘陵の湧水）でも、G6,G7（多摩川の河川敷内伏流水）に比べ硝酸性窒素濃度が高いことから、草花丘陵における農地やゴルフ場等の施肥由来の寄与が大きいと考えられた。

エチレングリコールについては、主に燃料小売業において凍結防止剤として土壌に排出されるが、事業所の影響がほとんどないと考えられる多摩川伏流水でも観測された理由は不明である。

全亜鉛については、伏流水、湧水、農地の地下水、河川水に関わらずほぼ一定濃度（0.01～0.02mg/l）検出されたことは、農地等によらず、この程度の濃度であれば自然界に存在することを示唆していた。

ヒドラジンについては、多摩川河川水、茨城県谷田川流域の W2,W3（いずれも畑）,W9（芝）で検出された、自然界には存在しないため、広範囲でその使用実績があることが示唆された。

PFOSについては、永田地区の伏流水や河川水では 0.0005 μg/l程度、谷田川流域では 0.0002 μg/l程度検出され、永田地区の草花丘陵湧水では 1 オーダー高い濃度（0.0024 μg/l）であった。なお、多摩川でPFOSの調査事例では、下水処理場より上流で 0.0022 μg/lとの報告⁹⁾があり、永田地区・谷田川流域での観測値に近かった。PFOSは自然界に存在しないため、微量ではあるものの、伏流水、河川水、農地の地下水で一定濃度検出されたことから、広範囲でその使用実績があることが示唆された。

4. まとめ

平成 16 年度は、水域に影響を及ぼすおそれのある土壌・地下水汚染の管理・予防措置の提案を行うための基礎的な知見として、調査対象物質を選定したうえで、東京都多摩川中流部の永田地区及び茨城県谷田川流域を対象に地下水中化学物質等の実態把握を行った。今後は、今年度把握できなかった農繁期における農薬散布や施肥による地下水質への影響の把握を行うなど地下水汚染実態の把握を進めるとともに、化学物質の地下水への漏洩が発生した場合の時間・空間的な影響範囲の評価方法について検討を行うことが求められる。

なお、本調査研究は、試験研究費により実施されたものである。

参考文献

- 1) 環境省告示第 16 号（2001）、土壌の汚染に係る環境基準について
- 2) 中央環境審議会（2000）、土壌の汚染に係る環境基準の項目追加等について（答申）
- 3) 環境省（2003）、平成 13 年度 P R T R データの概要～化学物質の排出量・移動量の集計結果～
- 4) 環境省（2004）、平成 15 年度版 化学物質と環境
- 5) 厚生労働省医薬食品局化学物質安全対策室（2005）、内分泌かく乱化学物質の健康影響に関する検討会 中間報告書追補その 2、p.93
- 6) 横浜国立大学大学院浦野・亀屋研究室・エコケミストリー研究会、身近な地域で出されている有害化学物質についての情報、<http://env.safetyeng.bsk.ynu.ac.jp/ecochemi/PRTR2002/prtr-index.html>
- 7) 河川生態学術研究会多摩川研究グループ(2000)、多摩川の総合研究－永田地区を中心として－
- 8) 国土交通省土木研究所都市河川研究室(2001)、茨城県谷田川における水循環に関する研究(1)－地下水の実態調査と水循環の数値解析－、土木研究所資料第 3782 号
- 9) Harada K, Saito N, Sasaki K, Inoue K, Koizumi, Drinking water contamination with Perfluorooctane sulfonate(PFOS) in Tama River in Tokyo, Japan and its estimated effects on human serum levels among residents, Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 71(1), pp.31-36: 2003