

審査の結果の要旨

氏名 黒田 啓介

東京をはじめとする我が国の都市域では、戦後の高度経済成長期に急激な水需要の増加とともに、地下水の過剰揚水がすすみ、そのため、地下水位の低下が起きた。これに対して、工業用水法やビル用水法、公害防止条例などを適用して地下水の過剰揚水を防止し、地盤沈下の抑制に取り組んできた結果、近年では、地下水の水位が回復しつつある。また、地震災害時の地下水利用や、環境用水・ヒートアイランド対策としての地下水利用が見直されつつある。このような背景のもとで、本論文は、都市域の地下水水質汚染の現状と持続可能な資源量を明らかにすることにより、利用可能な水量を推定し、有効な水資源としての新しい管理方法について研究をしたものである。

論文は 8 章からなり、第 1 章は研究の背景と目的、第 2 章は既存の関連研究をまとめたものであり、第 3 章では本研究で用いられた主な研究方法を説明している。

第 4 章は、既存の水質基準などをもとに、飲用水、散水用水、水洗トイレ用水、修景用水、親水用水、災害時生活用水として地下水を利用する場合の利用基準を設定し、東京都区部の地下水水質分析結果をもとに、利用可能性について検討した。その結果、飲用水としては、調査した 51 地点中 12 地点が塩素注入のみで利用可能であり、さらに 7 地点がマンガン接触ろ過と MF/UF 膜ろ過により利用可能と考えられた。さらに、粒状活性炭により 51 地点中 41 地点 (80%) の地点が利用可能となると考えられた。一方、散水用水・水洗トイレ用水には、112 地点中 27 地点 (24%) の地点において無処理で利用可能であり、修景用水と親水用水では、亜鉛が利用基準を大きく超過していることが問題であった。また、災害時生活用水には、121 地点中 103 地点 (85%) で無処理での利用が可能であり、残りの地点では塩素消毒が必要と考えられた。

第 5 章は、新規微量化学物質を用いた東京都区部における地下水汚染の解析を行った。高濃度の濁度、鉄、マンガン、DOC は Eh の低さと関連し、亜鉛は地質由来と、道路排水などの人為的な由来の可能性が考えられた。窒素は、Eh の高い武蔵野礫層で硝酸性窒素として、Eh の低い有楽町層や東京層 (被圧) などでアンモニア性窒素として検出された。窒素の収支から、下水、道路排水、土壌由来などの窒素源が存在し、それらは市街地における生活排水由来の窒素負荷の約 1% に相当した。大腸菌 *E. coli* は湧水において検出率が 80% と最も高く、

アデノウイルスは 44 地点中 4 地点で検出されたが、大腸菌の検出地点と異なることから、地中での挙動が異なることが示唆された。PFOA, PFOS を含む有機フッ素化合物 (PFCs) は 53 地点中 51 地点 (96%) で定量限界濃度 (0.25 ng/L 程度) を超えて検出され、不圧地下水だけでなく、被圧地下水においても高濃度の PFCs が検出された。

さらに、医薬品類 (PPCPs) と人為起源のガドリニウム Gd を地下水中の下水による汚染指標として測定し、汚染物質の起源推定を行った。測定した 6 種の PPCPs のうち、carbamazepine と crotamiton が 50 地点中それぞれ 19 地点、18 地点と最も多く検出された。carbamazepine は crotamiton より保存的で減衰しにくいことから滞留時間の長い地下水における下水汚染指標として有効であると推定された。一方、MRI 造影剤に由来する人為起源 Gd の分布は PPCPs や *E. coli* の分布と異なっていた。人為起源 Gd は病院排水中に高濃度に含まれるため、人為起源 Gd は地下水中で MRI がある病院の排水を含む汚染を高感度に検出できる汚染指標として有用である可能性があった。

第 6 章では、不圧地下水、被圧地下水、トンネル湧水について持続的に利用可能な水量を推定した。不圧地下水に関しては、降水浸透量を利用可能量と考えると 265,000 m³/日、自然涵養量の 15%~30% が利用可能量と考えると 67,300 ~135,000 m³/日と推定された。被圧地下水とトンネル湧水は、水位上昇の制御のために 1986 年時点の揚水量を揚水すると考えると、被圧地下水が 14,500 m³/日、トンネル湧水が 21,700 m³/日で計 36,200 m³/日が利用できると考えられた。不圧地下水、被圧地下水、トンネル湧水を合わせた東京都区部の利用可能量は 10 万 m³/日から 30 万 m³/日と推定された。

第 7 章では、地下水の有効利用のケーススタディとして、ヒートアイランド緩和のための壁面や路面への地下水散水の効果を小型パネルと実際の壁面・路面を用いた散水実験により確かめた。その結果、地下水の散水量に応じた地表面温度の低下量を明らかにし、0.8 mm の散水により非散水面との温度差が 20 分程度持続することがわかった。このため、1 日に散水を 8 時間行う場合に必要な地下水は約 20 mm となった。不圧地下水の利用可能量を 6~9 月の降水浸透量と考えた場合、東京都区部では地域によってひと夏に 5~20 日間の散水が可能と考えられた。この日数は一日の最高気温が 33°C 以上~35°C 以上の日数に相当した。

第 8 章は、本研究の結論であり、都市域の地下水水質汚染の現状と、汚染源の推定方法、それらに基づいた地下水管理策について提言を行った。これらは、現在見直しが進む都市域の地下水について、実務的にも有効な提言となっている。

よって本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。