

B-30 東京都区部の地下水質と安定同位体比の特徴

○福士 哲雄^{1*}・黒田 啓介¹・滝沢 智¹・沖 大幹²

¹東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻（〒113-8656東京都文京区本郷7-3-1）

²東京大学生産技術研究所（〒153-8505東京都目黒区駒場4-6-1）

* E-mail: t_fukushi@env.t.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

東京の地下水利用量は戦後急激に増大し、特に1970年代では揚水量が140万 m^3/d を超えるときもあった¹⁾。このような過剰揚水の結果、東京では広い範囲で地盤沈下が起こり、最も被害の大きかった江東区では1900年ごろから1970年代までに4mを超える地盤沈下が起こった²⁾。地下水位も過剰な揚水により、観測が行われてからほぼ毎年低下しており、1960年代の末にはTP-60m程度にまで低下した。このような地下水位の低下や地盤沈下の状況を受けて、1956年に工業用水法、1962年にビル用水法が制定された。地下水の揚水が規制されたことにより、地下水位の低下は上昇に転じ、1990年代には地下水位はTP-10m程度まで回復した。

しかし、地下水位が上昇していることによって逆に都市の地下インフラへの影響が現れている。例えば、東京駅や上野駅の地下ホームでは、地下水の浮力により躯体が傾きつつある状況にあり、アンカーで固定したり、重しを設置しなければならなくなった。また、駅施設に浸入した地下水を環境用水として有効利用する対策も行われており、上野駅からは不忍池に、東京駅からは立会川にそれぞれ放流している³⁾。

東京都の地下水位の観測結果によると、以前より上昇速度は緩やかであるが、近年も地下水位上昇は続いている。しかし、東京都では2001年に環境確保条例を制定し、地下水揚水の規制を強化している。これは、過去に地盤沈下の苦い歴史があるためであり、近年も一部の地域ではわずかながら地盤沈下が続いていることから、揚水規制を緩和することが難しい⁴⁾。

東京では今後地下水位が上昇すれば、さらに地下施設への影響が懸念されることから、地下水の水位を適切に制御することが重要となる。その方法としては、地下水の一部を揚水して有効利用することが考えられるが、このような有効利用を行う際には地下水質が重要な指標と

なる。本研究の目的は、東京都区部全体の地下水質の現状を明らかにするため、区部全域にわたって地下水をサンプリングして水質調査を行うとともに、安定同位体比などの指標も同時に測定して、地下水汚染源の推定を行うことである。

2. 調査方法

(1) 調査地点分布と採水方法

調査は2005年10月～2006年1月、2006年9月～12月にかけて行い、調査地点の分布を以下の図1に示した。採水地点は東京23区内にできるだけ均等に分布するように選定した。不圧地下水43地点、被圧地下水61地点、湧水3地点の合計107地点であり、不圧地下水と被圧地下水は地質データを基に不透水層との位置関係によって判断した⁵⁾。また、以下の解析では湧水は不圧地下水として扱った。採水の際は、井戸中の滞留水を除去するために、採水前に井戸の深さに応じて一定時間地下水を汲み上げ、その後空気との接触をできるだけ避けるように採水した。

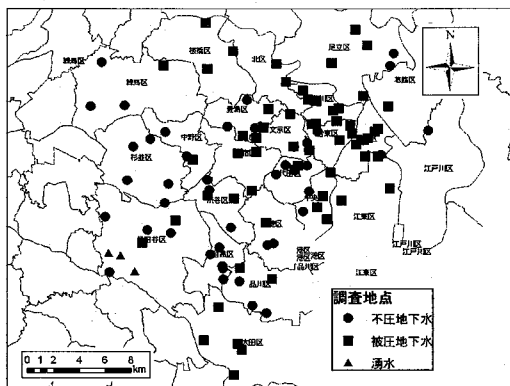


図1 採水地点の分布

(2)調査項目

調査項目は、水温、pH、EC、DO、ORP、濁度、DOC、アルカリ度、アンモニア性窒素、二価鉄、大腸菌・大腸菌群、主要陽イオン、主要陰イオンである。水温、pH、EC、DO、ORP、アルカリ度、アンモニア性窒素、鉄

(II) は現地で測定した。濁度は、採水したサンプルを実験室に持ち帰り測定した。主要陰イオンの分析には、サンプルを0.20 μ mのフィルターでろ過したものを用いた。DOC、主要陽イオン用のサンプルは、0.20 μ mのフィルターでろ過後、それぞれ塩酸、硝酸で固定したものを用いた。大腸菌・大腸菌群は、現地で固定したものを冷蔵して大学に持ち帰り、その後40℃のインキュベータに24時間入れた後、測定した。

3. 結果及び考察

(1)地下水の汚染状況

地下水の水質を測定した結果、被圧地下水と比べて、不圧地下水で各汚染指標が高い傾向が見られた。図2は不圧地下水のアンモニア性窒素、硝酸性窒素、DOCの各指標を地図上に表したものである。同図より、いくつかの地点で極めて高濃度のアンモニア性窒素や硝酸性窒素、DOCが検出されていることがわかる。さらに、23区中央部にある台地と低地の境目を境界として、東側でアンモニア性窒素、西側で硝酸性窒素が検出されている。

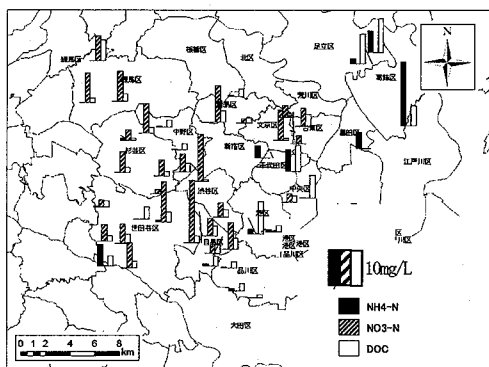


図2 不圧地下水の各汚染指標

(2)各種水質項目

主要陽イオン・陰イオンの測定結果を用いて、図3に示すトリリニアダイアグラムを作成した。同図から、IIIに隣接するVと、IVの領域にいくつかのデータが分布していることがわかる。一般的な地下水はIまたはIIに位置するとされ、IIIに隣接するVに分布する地下水は人為的影響の可能性が考えられ、IVの領域に分布する地下水は海水の影響の可能性が考えられるとされている⁷⁾。図3を見ると、海水の影響が考えられるIVの領域では、不圧地下水も被圧地下水もあり数に違いはないが、人為的

影響の可能性が考えられるVの領域では、被圧地下水7地点、不圧地下水19地点と明らかに数に違いが見られる。これは、人為的影響が特に不圧地下水に現れやすいことを示している。

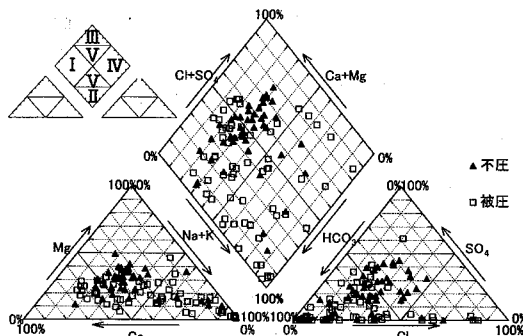


図3 採水した地下水のトリリニアダイアグラム

(3)地下水の窒素安定同位体比

地下水サンプルの中で、特に硝酸性窒素濃度が高かった28地点から得られたサンプルについては、窒素安定同位体比についても測定した。窒素安定同位体比は高いほど生物による影響を受けていると言われており、窒素安定同位体比が6‰を超えると生活廃水などの影響があると考えられている⁸⁾。今回測定した地下水の窒素安定同位体対比を地図上に表すと、図4のようになる。同図から、窒素安定同位体比は23区西部の世田谷区や杉並区で比較的高い傾向が見られた。一方、硝酸性窒素濃度と窒素安定同位体比の関係は図5のグラフで表され、窒素濃度が高いほど窒素安定同位体比が高いという傾向は見られず、今回窒素安定同位体比が6‰を超えた5地点は、一番濃度が高いものでも硝酸性窒素濃度が6mg/L以下であった。このことから、高濃度の窒素汚染は生活雑排水系以外の原因も考えられ、世田谷区や杉並区、渋谷区などの23区西部地域では生活雑排水系の寄与率が高いと言える。

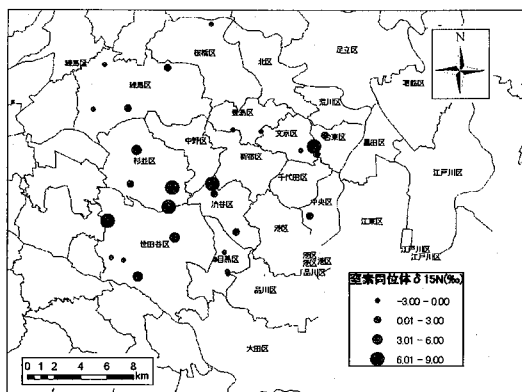


図4 地下水の窒素安定同位体比

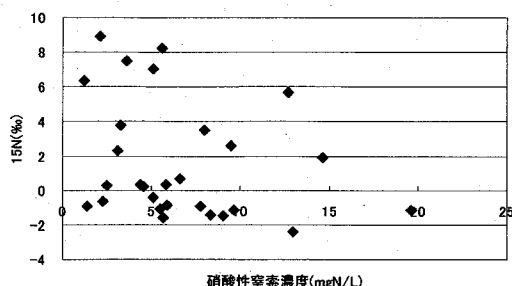


図5 硝酸性窒素濃度と窒素安定同位体比

(4)地下水・水道水・下水の酸素安定同位体比

酸素安定同位体比は地下を流れている間はほとんど値が変わらない指標で、地下水の酸素安定同位体比を調べることで地下水の涵養源を調べることができる。地下水と同様に水道水・下水処理場の初沈流入水の酸素安定同位体比を測定し、比較することとした。その結果、水道水については、図6に示すように、金町浄水場の給水域で平均で-10.54‰、朝霞浄水場の給水域で平均で-9.57‰とおよ1‰程度の酸素安定同位体比の差異が見られた。これは、金町浄水場が江戸川取水源とし、朝霞浄水場が荒川取水源としていることが理由であると考えられる。金町系の配水区域に位置する不圧地下水と朝霞系に位置する不圧地下水については、金町系で-8.48‰、朝霞系で-8.18‰と0.3‰の差異が見られた。これらのサンプルは同じ時期に採水したので、降水の酸素安定同位体比が変わらないとすると、このことから、地下水の涵養減として水道水が約3割ほど寄与している計算になる。地下水の収支から推測すると、水道水の漏水による地下水涵養への寄与率が東京23区でおおよそ24%程度になるという知見があり⁹⁾、今回の結果はそれとほぼ合致していた。

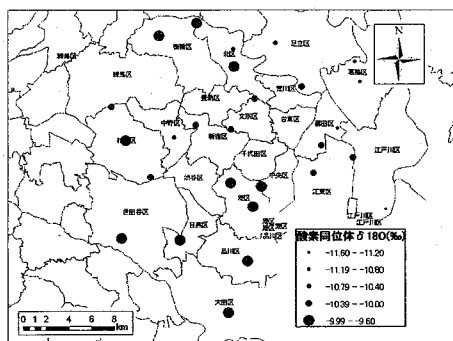


図6 水道水の酸素安定同位体比

4. 結論

東京都区部の不圧地下水において、アンモニア性窒素や硝酸性窒素、DOCといった各種汚染指標が高い地点が多く見られた。さらに、都区部の東側と西側では窒素

の存在形態が異なり、東側でアンモニア性窒素、西側で硝酸性窒素となっていた。

トリリニアダイアグラムからは、海水または人為的影響を受けている可能性のある地点が多く見られ、海水の影響が考えられる地点は被圧・不圧とも同じくらいの数であったが、人為的影響の考えられる地点は被圧地下水で7地点、不圧地下水で19地点と数に大きな差異が見られた。これは、実際の測定濃度で窒素などの汚染指標の濃度が不圧地下水の方が高かったことと関連があると考えられる。

窒素安定同位体比からは、西部の地域ほど人為的影響が考えられることが示唆されたが、硝酸性窒素濃度と窒素安定同位体比の間にはあまり関係性が見られなかった。

酸素安定同位体比からは、水道水が金町浄水場の給水域と朝霞浄水場の給水域で差異があり、不圧地下水でも金町系と朝霞系で多少の差異があり、地下水への水道の漏水の寄与率は涵養源全体のおおよそ3割程度であると推察された。

以上の調査結果から、東京都区部の地下水水質は、無処理での飲料用水とし利用するのは困難であり、水質の面から大規模災害時の飲料水として利用するのは難しいと考えられる。しかし、生活用水や環境用水としてなら、汚染の特に激しい地下水を除いて利用可能である。今後は、東京など都市域においては、地盤沈下対策としての地下水の規制を継続するだけでなく、地下水水位の変化をしっかりと観測しつつ、有効利用についても考えるべき時が来るものと思われる。そのためにも、地下水質を改善し、地下水の現状を把握しておくことが重要である。

参考文献

- 1) 東京都土木技術研究所：平成16年地盤沈下報告書
- 2) 環境省水・大気環境局：平成16年度全国の地盤沈下の概況
- 3) 東京都環境局・建設局：2002年9月4日報道発表資料 (<http://www.metro.tokyo.jp/INET/CHOUSA/2002/09/60C94100.HTM>)
- 4) 東京都環境局：2001年3月7日報道発表資料 (<http://www.metro.tokyo.jp/INET/CHOUSA/2001/03/60B37200.HTM>)
- 5) 東京都環境局：東京都の地盤沈下と地下水の現況検証について、2007年5月24日報道資料。
- 6) 国土交通省土地・水資源局国土調査課：区域別土地分類調査
- 7) 宮下雄次：地下水の硝酸性窒素汚染と周辺土地利用との関係、地下水技術第48巻8号、pp25-34、2006
- 8) 三村春雄、福井博、飯田和義、宮下雄次、石坂信之、横山尚秀：硝酸性窒素による地下水汚染対策検討調査、神奈川県環境科学センター研究報告、pp26-32、1999
- 9) 黒田啓介、福士哲雄、滝沢智、愛知正温、林武司、徳永朋祥：東京都区部の地下水窒素汚染の現状と汚染源の推定、環境工学研究論文集第44巻、2007、掲載予定