

◆ 報 文 ◆

茨城県谷田川流域における地下水位と地下水水質の実態調査

吉谷純一* 木内 豪** 戸嶋光映*** 賈 仰文**** 倪 幹恒***** 河原能久*****

1. はじめに

谷田川流域(面積約166km²)では、東京とつくばを結ぶつくばエクスプレス(常磐新線、2005年開通予定)の沿線開発が計画されており、急激な都市化が流域の水循環・物質循環に影響を及ぼすことが懸念される。そのため、開発以前から流域内の水文・気象に関する様々なデータを蓄積しながら、流域条件の変化が水循環に及ぼす影響をモニタリング及びモデリングにより評価する必要がある。

谷田川流域では上水や農業用水として地下水に依存している量がかなりあることから、我々は沿線開発開始前の1999年より、河川内の流量、水質の動態のみならず地下水の実態調査を実施している。また、研究学園都市が建設された直後の1975年前後に筑波大学によって同様の調査が行われている。そこで、本研究ではこの両時点の調査結果の比較を行い、過去25年間の地下水位及び地下水水質の変化の実態を明らかにするとともに流域の土地利用との関係について分析した。

2. 谷田川流域の概要

谷田川流域は茨城県の西部に位置し、流域関係市町村としてつくば市、茎崎町、谷和原村、伊奈町、牛久市、龍ヶ崎市がある。このうち、つくば市は流域の約70%を占め、次いで茎崎町が流域の12%を占める。

谷田川流域の概要及び地下水観測井戸の位置を図-1に示す。流域の地形・地質、土地利用及び人口は以下のとおりである。

2.1 地形・地質

谷田川流域の地形は、筑波・稻敷台地と台地を刻む谷田川の開析谷によって特徴づけられる。筑波・稻敷台地は、水戸から千葉に広がる常総台地の一部であり、標高はT.P.+30m~+20mである。台地の北~東側を桜川低地、西~南側を小貝川低地に区切られており、北西から南東へ次第に標高が低くなっている。この台地面傾斜に沿って稻荷



図-1 流域概要及び地下水観測井戸位置図
川、谷田川、西谷田川がほぼ平行して開析谷をつくり、牛久沼に流入している。

谷田川流域とその周辺の地質層については、筑波大学構内及び国土地理院地殻活動観測井のボーリング記録によると、それぞれ深度477mと487mで基盤岩類に達している。表-1の地質層序表に示すとおり岩盤からの地層は、上総層群、下総層群、常総層、関東ローム層となっており、谷部には沖積層が分布する¹⁾。また、表-1中に主な帶水層¹⁾を示す。常総層及び下総層群の成田層を帶水層とする地下水は主に不圧であるが、常総層中のシルト層あるいは常総粘土層によって被圧されている場合もある。本研究では、沖積砂層から成田層までの帶水層中の地下水を浅層地下水とし、下総層群下部の砂・砂礫層以下の帶水層中の地下水を

表-1 地質層序表

時代	地層名	記号	構成	地下水区分	分布地・分布標高(T.P.m)
現世	-		盛土/埋土		
第四紀 新生代 第三紀 鮮新世	沖積層	Ap	腐植土・有機質土		
		Ac	粘土・シルト		
		As	砂	不圧	沖積低地
		Ag	砂礫・礫		
	新期ローム層(立川、武蔵野相当)	tm	ローム	不圧	台地表層部
	常総層	tc	凝灰質粘土		
		Dp-1	腐植土・有機質土		
		Dc-1	粘土・シルト		
		Ds-1	砂	主に不圧	+20m~+10m
		Dg-1	砂礫		
	成田層(下総層群上部)	Dc-2	粘土・シルト		
		Ds-2	砂	主に不圧	+20m~+10m
		Dg-2	砂礫		
	下総層群下部(数層、地蔵堂層)	Dp-3	有機質土		
		Dc-3	粘土・シルト		
		Ds-3	砂	被圧	-20m~-40m
		Dg-3	砂礫		
		Dc-4	粘土・シルト		
		Ds-4	砂		
		Dg-4	砂礫		
	上総層群	Dg-5	砂礫	被圧	-70m以深

深層地下水とする。また、下総層群下部の砂・砂礫層の帶水層は、筑波地域において比較的浅い位置に存在する被圧帶水層として簡易水道、農業用に広く利用されている²⁾。

2.2 土地利用及び人口

国土数値情報(1976年調査)と第五期細密数値情報(1994年調査)に基づき、谷田川流域における各年の土地利用割合を算定した(表-2)。表-2より、建物、道路等からなる都市域の面積割合は9%から30%へと増加し、森林・荒地の面積割合は26%から16%へと減少している等、流域の都市化が進行していることが分かる。さらに、図-1中

に示す総面積約13km²(流域面積の8%に相当)の5地区において、つくばエクスプレスの沿線開発が計画されている。

また、地域メッシュ統計(1995年国勢調査)で求めた谷田川流域内の現況人口は12.6万人であるのに対し、沿線開発計画が検討されている5地区のうち、4地区的計画人口は、合計で7.5万人と想定されている。従って今後、谷田川流域の都市化が急激に進展することが予想される。

3. 地下水観測の概要

3.1 地下水位調査

調査は表-3に示すように1999年、2000年において合計で5回実施した。

本調査では当初、1970年代に筑波大学が調査を実施した井戸を測定対象とした³⁾。しかしながら、上水

道の整備の進展や井戸枯れなどにより、当時の調査井戸が現存しない場合もあり、また流域全体の地下水の実態を把握するため、2000年調査では下流の牛久沼まで網羅できるよう新たに井戸を追加選定した。調査対象井戸64地点の内、浅層地下水から取水する浅井戸は59箇所、深層地下水から取水する深井戸は5箇所である。井戸の種別に関しては、深井戸はボーリング井戸で、浅井戸は主に丸井戸である。

また、地下水位を求めるため、地盤から井戸枠の高さを計るとともに、地盤高を数cmの誤差で決定できるRTK-GPSにより測量した。

表-2 谷田川流域の土地利用割合

土地利用区分	1976年	1994年
田	15%	14%
畑	34%	33%
森林・荒地	26%	16%
都市域	9%	30%
空地・造成中地	11%	2%
河川・湖沼	5%	4%

表-3 地下水位調査の概要

調査機関	天候	調査地点
1999.10.6~10.8	曇り	45地点(浅井戸40、深井戸5)
1999.12.9~12.11	晴れ	48地点(浅井戸43、深井戸5)
2000.5.26~5.27	晴れ	63地点(浅井戸58、深井戸5)
2000.7.28~7.29	曇り	64地点(浅井戸59、深井戸5)
2000.11.10~11.11	晴れ	63地点(浅井戸58、深井戸5)

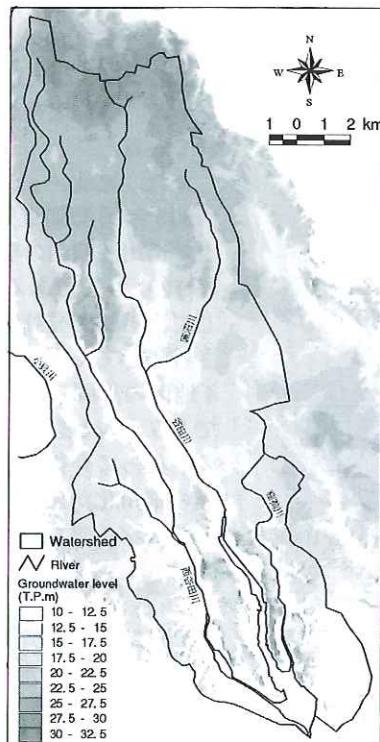


図-2 地下水位分布図

3.2 地下水水質調査

地下水水質については、多項目水質チェッカーを用いて水温、pH、電気伝導度、溶存酸素を現地測定するとともに、井戸水を採取し水質分析を行った。水質分析項目は、地下水の水質組成及び地下水に含まれる全窒素の濃度を把握するため Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NH_4^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- とした。2000年の調査では、図-4中の新井橋、陣屋橋、中谷原橋の各地点の河川水についても同様の水質調査を行った。

4. 観測結果と考察

4.1 地下水位の変化

浅井戸の地下水位調査結果を用いて地下水位分布図を作成した。地形条件を反映させるため、各井戸の地下水位調査結果を内挿して地盤高から地下水面までの深さのメッシュデータを50mメッシュで作成し、地盤高に関する50mメッシュデータと重ね合わせて地下水位を求め、地下水位分布図を作成した。図-2に2000年11月の例を示す。

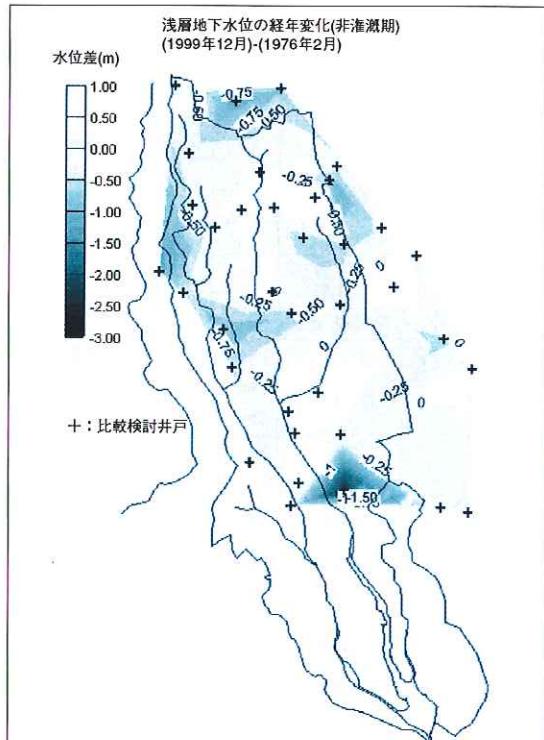


図-3 地下水位の経年変化

各調査時期の地下水位分布図より、浅層地下水位は、谷田川流域の北端で高く、徐々に南へ傾斜しており、流域における浅層地下水界は流域界とほぼ一致していると推定される。

浅層地下水位の経年変化について、人為的な影響が比較的少ないと考えられる非灌漑期を対象に地下水位の比較を行った。図-3に、1999年12月地下水位から筑波大学の測定³⁾による1976年2月地下水位を差し引いた水位変化図を示す。比較したデータは、測定前1週間程度無降雨で地下水

表-4 土地利用面積割合の変化

低下量(m)	0m未満			0~0.75m			0.75m以上		
	検討範囲に占める割合			10%			81%		
土地利用区分	76年	94年	変化量	76年	94年	変化量	76年	94年	変化量
田	9%	9	0	13	11	-2	11	8	-3
畠	42%	37	-5	39	35	-4	39	35	-4
森林・荒地	13%	10	-3	15	12	-3	13	12	-1
空地・造成中地	10%	2	-8	12	2	-10	16	2	-14
都市域	25%	41	+16	20	39	+19	20	42	+22
河川・湖沼	1%	1	0	1	1	0	1	1	0
浸透域(田+畠+森林・荒地+空地・造成中地)	74%	58	-16	79	60	-19	79	57	-22

位が安定していると考えられるものを採用した。図-3より、地下水位が全体的に下がっていると共にところによっては1m以上低下している領域も見られる。地下水位の低下量は、平均して0.4m程度である。地下水位がこのように低下した要因として、都市化による浸透域の減少・不浸透域の拡大と研究学園都市建設関連による河川・排水路整備が進んだことなどが挙げられる。

地下水位の低下量と土地利用変化の関係をみるために、図-3の地下水位変化図の範囲で地下水位低下量が、0m未満、0~0.75m、0.75m以上の3つの領域に区分し、領域毎に1976年(国土数値情報)と1994年(細密数値情報)の土地利用を算出した(表-4)。表-4から、地下水位の低下量が大きい領域ほど、田、畑、森林・荒地及び空地・造成中地を合わせた浸透域の面積割合の減少が大きく、都市域の面積割合の増加も大きいことが判明した。

4.2 地下水水質及び河川水質の変化

地下水水質の経年変化について、1975年11月

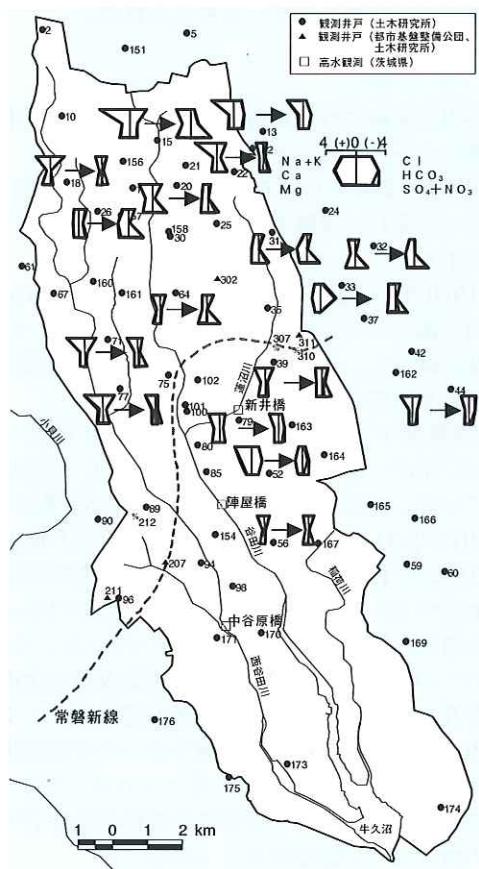


図-4 ヘキサダイヤグラムの経年変化
(矢印の左側 1975/11 右側 200/11)

調査結果と2000年11月調査結果よりヘキサダイヤグラムと水質比較図を作成し、それぞれ図-4、5に示す。図-4、5より、 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- の減少傾向と NO_3^- の増加傾向が読み取れる。 Na^+ 、 Cl^- の減少は、下水道整備の進展及び浄化槽の普及により生活雑排水の処理が進んだことや河川・排水路の整備が進み地下水への生活雑排水の混入が減少したためと考えられる。

また、谷田川流域内における農業系の土地利用変化をみるために、図-6に流域内の作物別収穫面積の経年変化を示す。流域内の作物別収穫面積は、農業統計資料^{4),5),6)}に記載の自治体ごとの作物別収穫面積と流域に占める自治体の面積から推定した。図-5より、稻などの収穫面積は減少しているが、芝畠は増加傾向にあり、1998年の面積割合は1975年に比べ約2倍になっている。また、流域全体の森林の面積割合は、1976年(国土数値情報)は26%であったが、1994年(細密数値情報)は16%へと減少している。 NO_3^- の増加は、長年にわたる肥料の土壤中への蓄積や森林(林地)の減少に伴う希釀効果の低下などの影響が考えられる。

2000年の調査結果によると、 NO_3^- -N(硝酸態窒素)と NO_2^- -N(亜硝酸態窒素)の合計が地下水環境基準値の10mg/lを超えた地点は、灌漑期、非灌漑期を通じて調査地点数の3~4割程度と比較的多くかつ広範囲にわたっており、濃度の最大値は34.3mg/lとなっている。図-7に2000年5月、

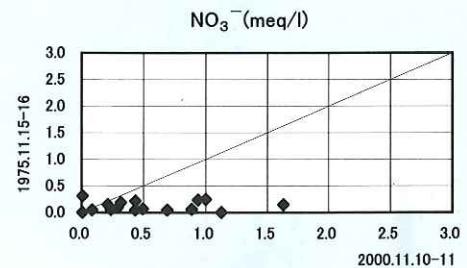


図-5 水質比較図 (NO_3^-)

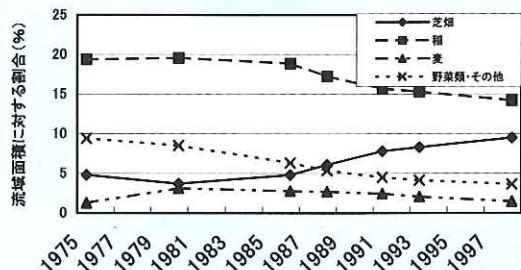
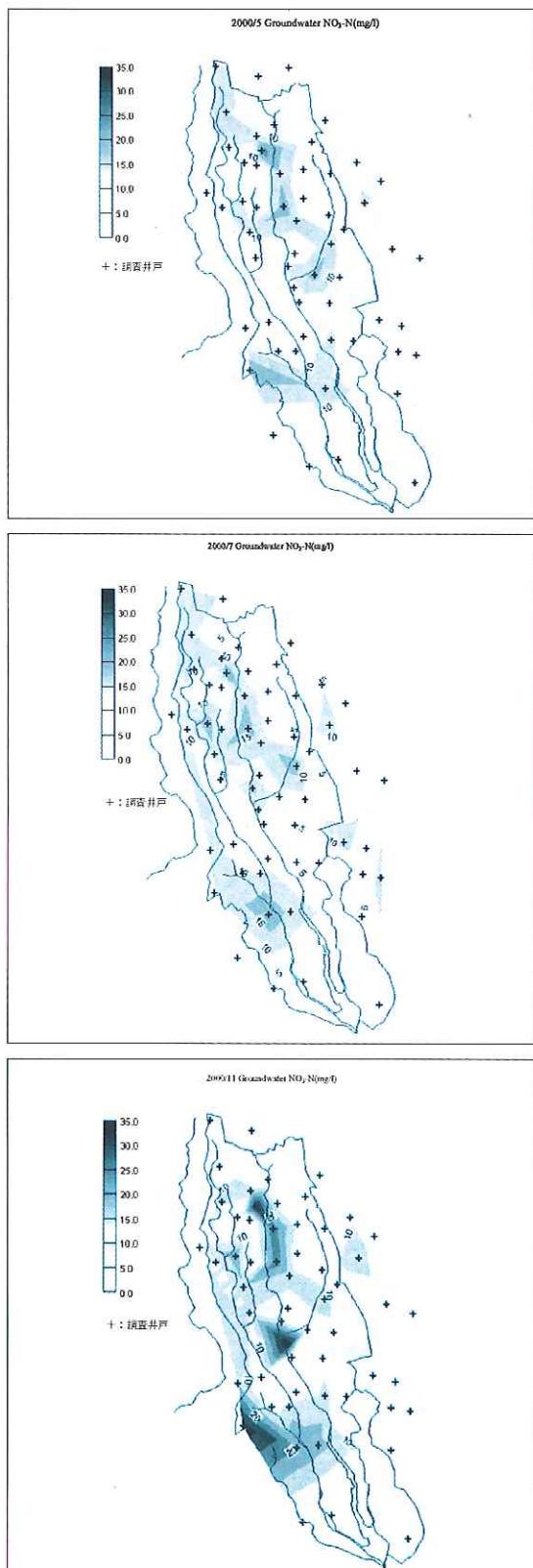


図-6 作物別収穫面積の経年変化

図-7 2000年5月、7月及び11月の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度分布

7月と11月の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度分布図を示す。図-7より、季節を経るに従って $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が高い地域が広がる傾向が見られる。また、11月において $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が非常に高い地域が存在しており、これは周辺の土地利用において畑の割合が多く、森林の割合が少ないと灌漑用水による希釈がないことと関連していると考えられる。

一方、河川の水質変化に関して、谷田川丸山橋地点(陣屋橋より約2.7km下流)の全窒素濃度⁷⁾の変動状況を図-8に示した。各年の最大値に着目すると1977年から1991年ごろまでは増加傾向、それ以降は一定している傾向が見られる。また、季節変化として非灌漑期に濃度が高い傾向が見受けられる。非灌漑期に全窒素濃度が高い要因として、非灌漑期は河川水が農業用水等で希釈されないことや硝酸態窒素濃度が高い浅層地下水がより多く河川へ流出したことなどが考えられる。別途検討されている谷田川の現況水循環解析結果⁸⁾では、地下水の河川への流出が低水流量に対して約6割あると推定されていることから、地下水の水質の影響が河川に現れやすいと考えられる。

5. おわりに

谷田川流域における地下水調査から、地下水の実態について次のことが判明した。

- ・ 谷田川流域における浅層地下水はほぼ地形に沿って流れ、浅層の地下水界は流域界とほぼ一致する。
- ・ 1970年代と比べ、現在の浅層地下水位は全体的に低下している。都市化の進展に伴い、浸透域が減少し、不浸透域が増加している区域ほど地下水位低下量が大きい。
- ・ 浅層地下水水質については、1970年代と比べ、 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- が減少し、 NO_3^- が増加している。特に、硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)濃度は、1975年11月において調査された全井戸地点で10mg/l未満であったが、2000年調査では採水地点の30~40%の井戸において濃度が10mg/lを越え、最大で34.3mg/lとなっている。 Na^+ 、 Cl^- の減少は、下水道整備の進展及び浄化槽の普及により生活雑排水の処理が進んだことや河川・排水路の整備が進み地下水への生活雑排水の混入が減少したためと考えられる。 NO_3^- の増加は、長年にわたる肥料の蓄積や森林(林地)の減少などの影響が考えられる。

今後も、当流域における調査を継続し、水・物質循環の実態の解明を行うつもりである。

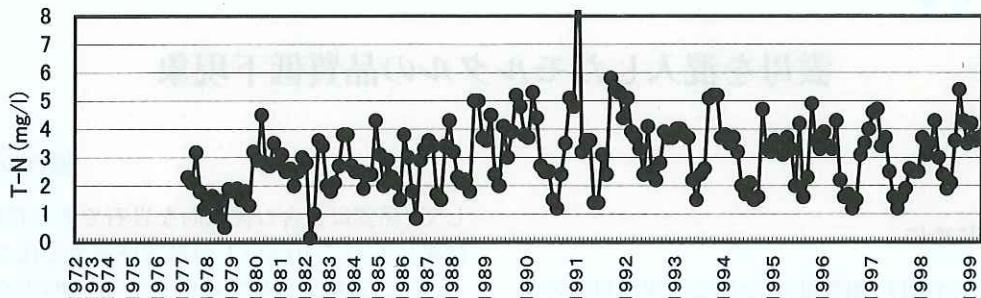


図-8 谷田川 丸山橋地点における全窒素濃度の変動状況

謝辞:今回の調査は筑波大学と共同で行ったものである。調査・分析に際して、貴重なアドバイスを頂いた筑波大学田中正教授、水質分析に協力して下さった同大学学生の長坂英治氏、データを提供して頂いた茨城県、都市基盤整備公団、つくば市、筑南水道企業団の関係者、ご協力頂いた井戸所有者の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 財団法人建築保全センター：筑波研究学園都市地盤図、1980.
- 2) 地質調査所：筑波研究学園都市及び周辺地域の環境地質図、1988.
- 3) 筑波大学地球科学系水文学分野：筑波研究学園都市付近の水文資料集、No.1-3、1976-1978.
- 4) 農林省：1975年農業センサス茨城県統計書
- 5) 農林水産省：1980年世界農林業センサス茨城県統計書
- 6) 茨城県：茨城の農業(1986, 1988, 1991, 1993, 1998年)
- 7) 茨城県：公共用水域及び地下水の水質測定結果、1972-1998年度
- 8) 吉谷純一、木内豪、賈仰文、倪廣恒、戸嶋光映：谷田川流域における水循環に関する研究(1), 土木研究所資料第3782号、2001.

吉谷純一*



独立行政法人土木研究所水工研究グループ水理水文チーム
上席研究員
Junichi YOSHITANI

木内 豪**



同 水理水文チーム主任研究員
Tsuyoshi KINOUCHI

*戸嶋光映**



同 水理水文チーム交流研究員
Kouei TOJIMA

賈 仰文****



同 水理水文チーム科学技術特別研究員、工博
Dr. Yangwen JIA

倪 广恒*****



(前) 都市河川研究室交流研究員、工博
Dr. Guangheng NI

河原能久*****



香川大学工学部教授
(前) 都市河川研究室主任研究員、工博
Dr. Yoshihisa KAWAHARA