熊本県保健環境科学研究所報　第 52 号，62-70（2022）報文

5）下益城郡美里町北西部の地下水質について

廣畑昌章　眞田知征*　芹川大成　松崎達哉

要　旨

平成9年（1997年）度に「硝酸性窒素による地下水汚染機構解明調査」を実施した熊本県下益城郡美里町北西部（旧中央町北部）において，地下水質について調査した。硝酸性窒素濃度が10mg/Lを超過する地点数が減少するとともに，平均濃度，最高濃度ともに大きく低下していた。調査地域を4つに分けて解析を行った結果，北東側台地部で硝酸性窒素濃度が高い値を示す地点が多く，平成10年（1998年）と同様の傾向を示した。

キーワード：地下水，水質，地下水汚染，硝酸性窒素

はじめに

硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素（以下「NO_3^--N」という。）は，地下水の水質汚濁に係る環境基準（以下「環境基準」という。）項目の中で最も超過率が高く，環境基準を超過した状態が長く続いている項目である[1)]。NO_3^--Nによる地下水汚染は，汚染源そのものに広がりを持ち，有効な対策が取りにくく個別規制が困難であるという特徴がある。そのため，熊本県では，平成7～9年度（1995～1997年度）にかけて，それまでの調査で環境基準を超過する井戸が集中して確認された3地域について「NO_3^--Nによる地下水汚染機構解明調査」を実施した[2～7)]。

その地域の一つである熊本県下益城郡中央町（現，美里町西部）では，平成9年（1997年）度に，特に環境基準超過井戸が集中していた同町北部地域に調査地域を設定し，窒素負荷量及び窒素同位体比等の調査・解析の結果から，汚染の原因が以前当該地域で盛んに栽培されていた桑への施肥，特に化学肥料の施肥による影響及び生活排水の影響であることを明らかにしている[6,7)]。

今回，前回の調査から25年を経過する中で，同地域における地下水質，特にNO_3^--N濃度がどのように変化したのか，把握したので報告する。

調査地域

図1に調査地域概略図を示す。調査地域は熊本県の中央に位置する下益城郡美里町の北西部（旧中央町北部）に位置する。調査地域の東方には緑川及び津留川が北上し，これらを境として甲佐町に隣接する。また，調査地域の南東から西に向け国道218号が走り，これに沿う形で南から西に向けて浜戸川が流下する。集落は国道218号沿い及び同道から南北に延びる県・町道沿いにある。

調査地域の地形は，北から中起伏山地（標高400～200m），段丘面（標高80～100m），低地，段丘面，中起伏山地～大起伏山地（標高400m以上）に区分される。特に中央の段丘面はほぼ平坦な台地地形をしており，東方を北流する緑川の谷底平野とは約50mの比高差がある[8)]。

図2に調査地域の表層地質図[8,9)]を示す。中央には砂礫層からなる段丘堆積物が分布しており，甲佐町の緑川沿いに広がる低地よりも一段高い段丘面をつくっている。北西側には御船層群が分布しているが，ここでは白亜系の海成～汽水成の砂岩層（一部泥岩を挟在）であり，3層（基底層，下部層及び上部層）に分類されるうちの下部層にあたる。

また，調査地域に広く分布する火山砕屑物はAso-4火砕流堆積物であり，角閃石斑晶を含む灰～白色軽石，火山灰，角礫からなる堆積物である。流紋岩質の溶結凝灰岩（柱状節理の発達した軟岩状）と非溶結凝灰岩（凝灰質砂状）からなり，ともに地下水が胚胎しやすい透水層となっている。調査地域の南部には，肥後変成岩の片麻岩が分布し，東西方向に細長く結晶質石灰岩を挟み込んでいる。

なお，国道218号沿いに蛇紋岩の露頭が認められるが，これは黒瀬川古期岩類を構成する岩石の一部であり，御船層群と肥後変成岩類との間に細長く分布する。

図3に調査地域の帯水層概略図[8)]を示す。当該地域の

*現天草広域本部保健福祉環境部

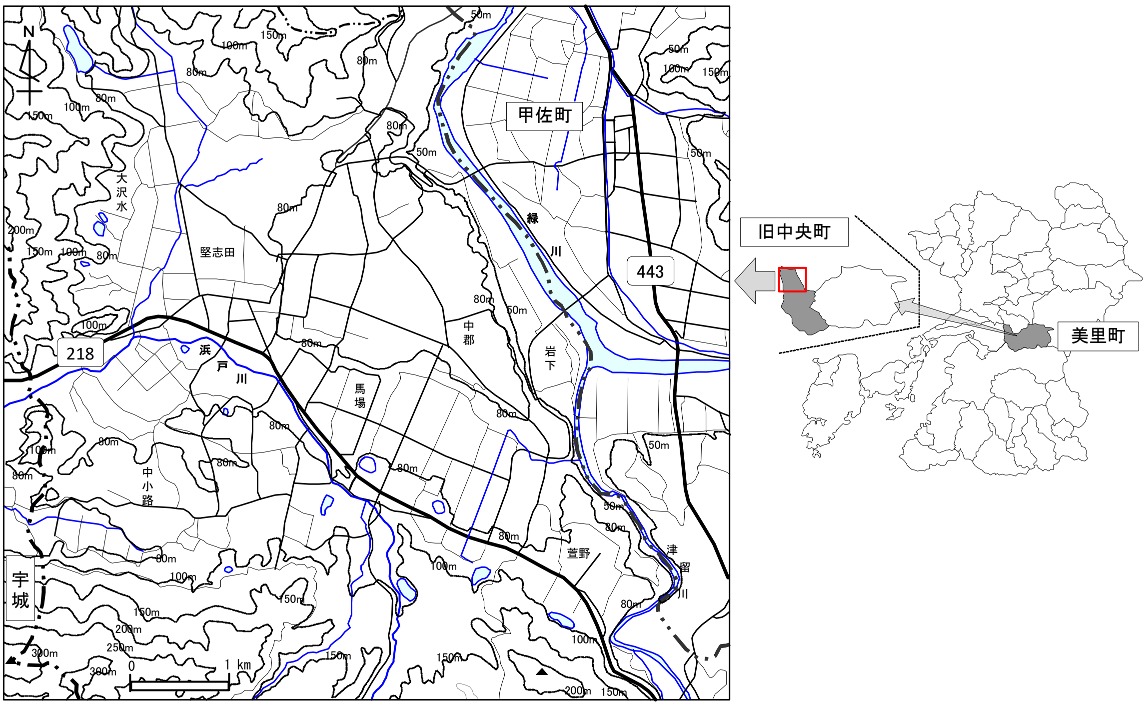

図1　調査地域概略図

地下水は，先Aso-4火砕流堆積物の凝灰質粘土を水理地質基盤とし，Aso-4火砕流堆積物（溶結・非溶結凝灰岩）を帯水層とする不圧地下水（第1帯水層），先Aso-4火砕流堆積物（凝灰岩質砂及び砂礫）を帯水層とする被圧地下水（第2帯水層）とに分けられる。第1帯水層と第2帯水層との水位差は1m内外でほとんど差がなく，第1帯水層中での地下水賦存量はさほど多くはないが，第2帯水層中での地下水賦存量はかなり多い。なお，第2帯水層の加圧層である凝灰質粘土が調査地域全体に連続しているかどうかは明らかでなく，この加圧層が中途で途切れているのであれば，第1帯水層と第2帯水層の区別はなくなる。

調査方法

図4に調査地点図を示す。調査地点は平成10年（1998年）1～2月に実施した詳細調査92地点のうち井戸廃止や浄水器設置による原水が採水できなかったなどの23地点を除く69地点に1地点を加えた70地点について採水し水質分析を行った。現地確認及び採水は，令和5年（2023年）2月27日から3月20日にかけて実施した。

分析項目及び分析方法は，pH，電気伝導率（以下「EC」という。）は電極法，陽イオン（Na^+，NH_4^+，K^+，Ca^{2+}，Mg^{2+}）及び陰イオン（F^-，Cl^-，NO_2^-，Br-，NO_3^-，PO_4^{3-}，SO_4^{2-}，HCO_3^-）のうちHCO_3^-を除くイオン成分はイオンクロマトグラフ法，HCO_3^-は硫酸滴定法によるpH4.8アルカリ度から算出した。溶存酸素量（DO）はウインクラーーアジ化ナトリウム変法，SiO_2はモリブデン黄法で測定した。

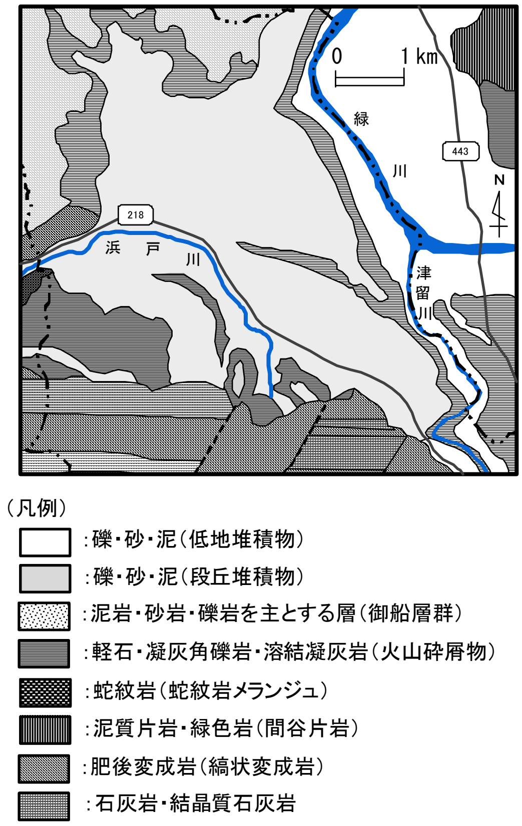

図2 表層地質図（平面図）

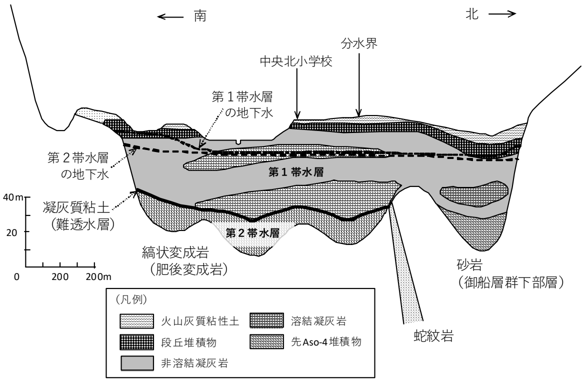

図3 帯水層模式図（断面図）

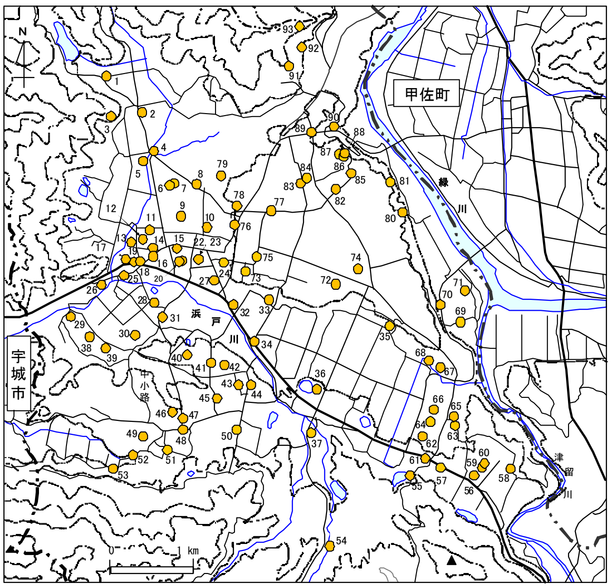

図4 調査地点図

表1 平成10年（1998年）及び令和5年（2023年）の水質比較表

（単位　水温:℃、電気伝導度:μS/cm、イオン成分・SiO₂・溶存酸素:mg/l）

	平均値			最大値			最小値		
調査時期	H10	R5	差（R5-H10）	H10	R5	差（R5-H10）	H10	R5	差（R5-H10）
水温	16.6	17.1	0.6	19.4	19.9	0.5	7.0	10.7	3.7
pH	6.77	7.02	0.25	8.20	9.38	1.18	5.81	6.31	0.50
EC	246	247	1	457	477	20	86	109	23
Na^+	12.6	14.0	1.3	57.7	56.1	−1.7	3.7	4.0	0.3
K+	5.5	6.1	0.5	13.7	16.6	2.9	0.5	0.3	−0.2
Mg^{2+}	6.6	6.4	−0.2	15.6	13.7	−1.8	1.4	0.2	−1.2
Ca^{2+}	21.6	20.8	−0.8	56.7	63.6	6.9	6.5	3.3	−3.1
F^-	0.10	0.09	−0.01	0.61	0.43	−0.18	0.05	0.03	−0.02
Cl^-	11.0	8.3	−2.8	36.6	27.0	−9.6	2.8	2.5	−0.2
NO_3^-	25.8	18.7	−7.1	134.0	61.7	−72.3	0.00	0.07	0.07
NO_3^--N	5.8	4.2	−1.6	30.3	13.9	−16.3	0.00	0.02	0.02
SO_4^{2-}	11.7	13.0	1.3	45.7	30.1	−15.7	1.6	1.6	0.0
HCO_3^-	92.3	94.4	2.1	203.8	281.0	77.2	27.3	42.9	15.6
SiO_2	47.1	52.2	5.0	70.0	72.2	2.2	10.4	11.9	1.6
溶存酸素	5.9	5.8	−0.1	10.7	10.0	−0.7	0.6	0.4	−0.2

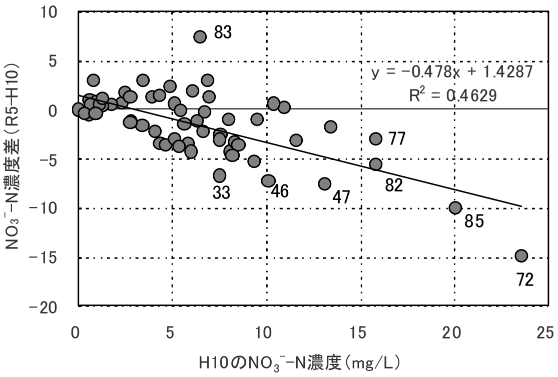

図5 平成10年（1998年）のNO_3^--N濃度に対するNO_3^--N濃度差（令和5年（2023年）-平成10年（1998年））の散布図

結果及び考察

1. 水質

1.1 分析結果

表1に70地点の各項目の分析結果を示した。水道法に基づく水質基準（10mg/L）（以下「水道水質基準」という。）を超過するNO_3^--N濃度を示したのは7地点であり，平成10年（1998年）の16地点（うち5地点は今回採水できず）から減少していた。平均濃度も5.83mg/Lから4.23mg/Lと減少しており，最高濃度も30.3mg/Lから13.9mg/Lと大きく低下していた。

図5に平成10年（1998年）のNO_3^--N濃度に対するNO_3^--N濃度差（令和5年（2023年）-平成10年（1998年））の散布図を示す。平成10年（1998年）のNO_3^--N濃度が高ければ高いほど，濃度低下が大きい傾向がうかがえる。

当該地域については，汚染の主要因が昭和40～50年（1965～1975年）代頃に盛んに栽培されていた桑への施肥，特に化学肥料の施肥による影響6,7)と結論付けられており，調査当時すでに汚染源が存在していないことから他地域（例えば県北の荒尾地域等）に比して行政等による積極的な対策は実施されていない。今回，基準を超過する地点が減少し，かつNO_3^--N濃度が低下していることから回復が進んでいることが分かるが，逆に前回の調査から四半世紀を経過してもなお当該地域に基準超過井戸が存在することは，NO_3^--Nによる地下水汚染からの回復がいかに難しいかを物語っている。

なお，他の項目に特に大きな変化は見られていない。

1.2 トリリニアダイヤグラム

70地点の水質組成をトリリニアダイヤグラムとして図6に示す。約3/4の52地点がⅠ（アルカリ土類炭酸塩型）に含まれ，Ⅱ（アルカリ炭酸塩型）に2地点（No.74及び43），Ⅲ（アルカリ土類非炭酸塩型）に1/5の14地点，Ⅳ（アルカリ非炭酸塩型）に2地点（No.23及び44）が含まれた。平成10年（1998年）調査時に，約2/3の地

点がⅠ，約3割の地点がⅢに含まれていたが，今回，一般にNO_3^--Nによる汚染が進んでいる地点が含まれるとされるⅢの地点の割合が減少し，Ⅰの地点の割合が増加していた。

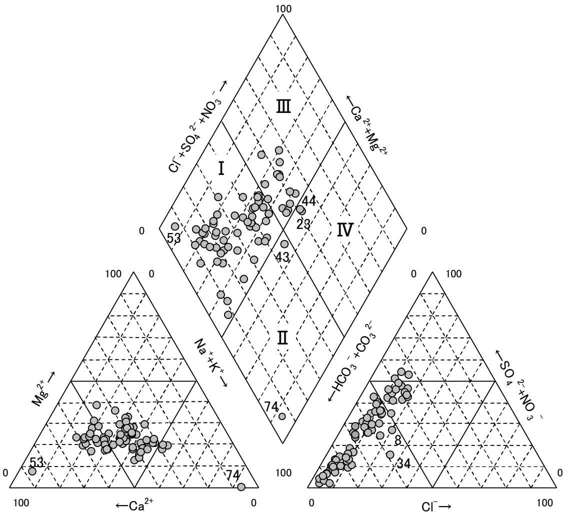

図6 トリリニアダイヤグラム

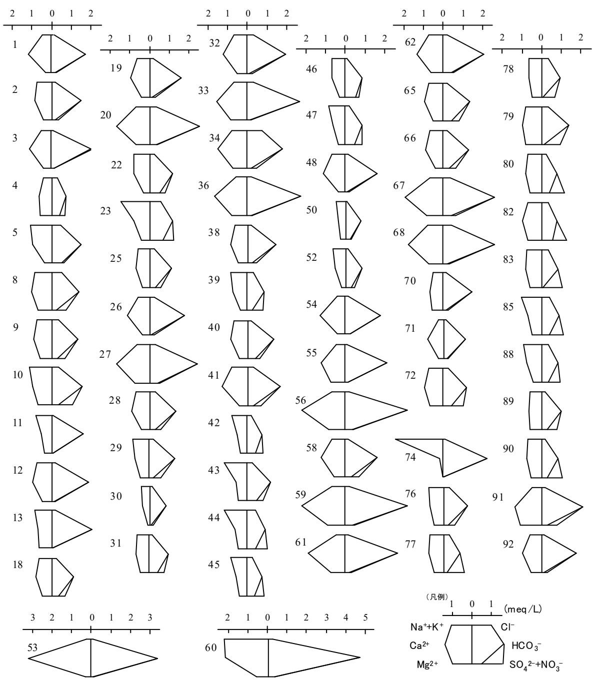

図7 ヘキサダイヤグラム

陽イオン，陰イオン別に見た場合，陽イオンでは2地点（No.53及び74）を除きある程度類似した組成を示すのに対して，陰イオンでは，Cl^-の組成はNo.8及び34の2地点を除く全ての地点が0～20%の範囲にありばらつきが小さいものの，$HCO_3^-+CO_3^{2-}$と$SO_4^{2-}+NO_3^-$の組成割合はそれぞれ$HCO_3^-+CO_3^{2-}$が33～94%，SO42-+NO_3^-が2～54%と大きくばらついている。この傾向は平成10年（1998年）調査時と同様である。

1.3 ヘキサダイヤグラム

70地点の水質組成をヘキサダイヤグラムとして図7に示す。一般的に地下水に見られる水質の一つであるCa-HCO_3型が多く見られており，NO_3^--Nによる汚染が進んでいる地域に見られるより極端なCa-SO_4+NO_3型やNa-SO_4+NO_3型は，平成10年（1998年）に比べて少ない。前回同様，No.53は，トリリニアダイヤグラムにおいて$Ca^{2+}+Mg^{2+}$及び$HCO_3^-+CO_3^{2-}$の割合がそれぞれ90%以上を示すとおり，より極端なCa-HCO_3型を示した。また，No.74はトリリニアダイヤグラムにおいてもNa^++K^+（ただし，K^+はほとんど含まれていない）及び$HCO_3^-+CO_3^{2-}$の割合がそれぞれ90%以上を示すとおりより極端なNa-HCO_3型を示した。

2. 水質の変化

2.1 水質の比較

今回採水した地点のうち平成10年（1998年）と同一地点の井戸69地点について，横軸に各測定項目の平成10年（1998年）の値，縦軸に令和5年（2023年）の値をとり散布図として図8に示した。pH，Cl^-，NO_3^-及びSO_4^{2-}の4項目を除く8項目では，一部の地点を除いて大部分の地点が，対角線（平成10年（1998年）の値と令和5年（2023年）の値が等しい線）の近くにあり変化量は小さい。比較的大きな変化が見られた4項目のうち，pHでは対角線よりも上振れしており，平成10年（1998年）よりも令和5年（2023年）の方が全体的にpHが高いことが分かる。一方，Cl^-及びNO_3^-では逆に下振れしており，令和5年（2023年）の方が濃度が低くなっている。これらに対して，SO_4^{2-}では全体的にばらけており，地点ごとに傾向が異なっていた。

次に，69地点について，陽イオン（Na^++K+，Ca^{2+}，Mg^{2+}）及び陰イオン（Cl^-，HCO_3^-，$SO_4^{2-}+NO_3^-$）ごとに各成分の比率の最大変化量のヒストグラムを図9に示した。陽イオンは半数以上の39地点が5ポイント以下であり，このうち半数の19地点については2ポイント以下という，25年経過する中でも非常に小さな変化にとどまった。一方，陰イオンは全体的に変化が大きく，5ポイント以下の変化にとどまったのは約1/4の18地点しかなく，半数近くの32地点が10ポイント以上の大きな変化を示し，うち7地点（No.11，18，33，44，48，61及び74）は25ポイント以上の非常に大きな変化を示した。

2.2 掘削し直した地点

前述の非常に大きな水質変化を示した地点の中には，25年を経過する中で井戸を掘削し直した地点も含まれており，取水帯水層の違いなどによる水質変化の可能

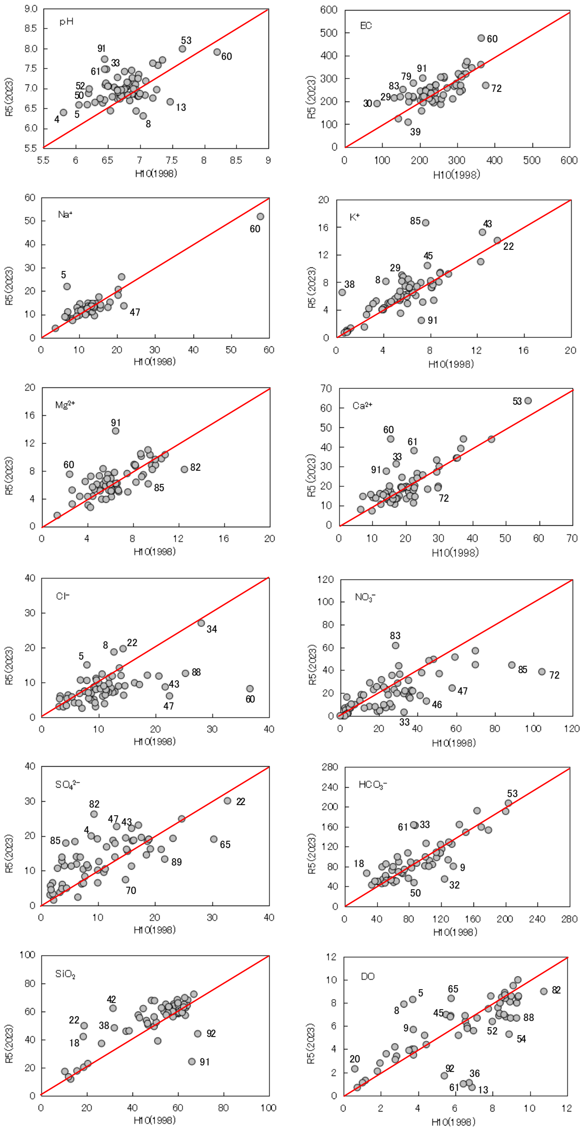

図8 平成10年（1998年）と今回の測定値の比較

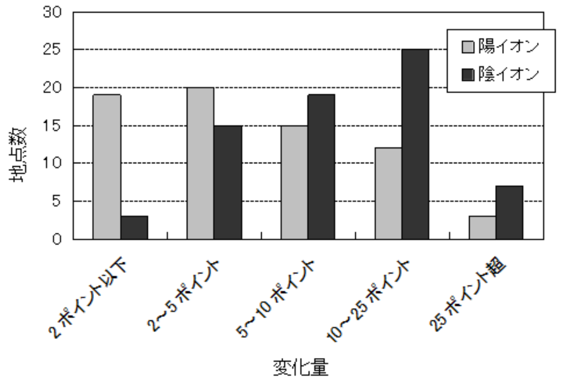

図9 陽イオン，陰イオン別の各成分割合の変化量のヒストグラム

性も考えられた。そこで，前回の調査時以降，井戸を掘削し直している地点の水質変化に注目した。

表2に前回の調査時以降井戸を掘削し直している7地点の井戸詳細を示した。なお，帯水層については，文献8)に標高30m付近に第1帯水層と第2帯水層を分ける難透水層（凝灰質粘土）があることが示されていることから，これを参考に分類した。また，No.74については，同書に第3帯水層の記述はないが，井戸深度が周囲の地点に比べて著しく深い120mであり，基盤岩に達する深さであるとともに，水質も周囲の地点と大きく異なっていることから，第3帯水層として分類した。

表2 掘削し直した地点の井戸詳細

No.	H10(1998)				R5(2023)			
	井戸形態	井戸深度(m)	井戸底標高(m)	帯水層	井戸形態	井戸深度(m)	井戸底標高(m)	帯水層
3	掘り抜き	9m	62.2m	1	ボーリング	20m	51.2m	1
11	掘り抜き	9.8m	54.8m	1	ボーリング	60m	4.6m	2
44	掘り抜き	11.9m	71.6m	1	ボーリング	50m	33.5m	1
48	ボーリング	30m	54.2m	1	ボーリング	43m	41.2m	1
61	掘り抜き	7.7m	69.0m	1	ボーリング	約80m	-3.3m	2
71	掘り抜き	6.2m	32.5m	1	ボーリング	20m	18.7m	2
74	ボーリング	63m	25.1m	2	ボーリング	120m	-31.9m	3

表2では掘削し直された結果，掘り抜き井戸がなくなり全てボーリング井戸となっており，より深い位置まで掘削されている。そのため，No.11，61，71及び74の4地点で取水帯水層がより下の層へ移っている。

次に，図10及び11にこれら7地点の水質組成の変化をヘキサダイヤグラム及びトリリニアダイヤグラムとして示した。No.11，61，71及び74の4地点では取水帯水層がより下の層へ移ったことによる水質の変化ととらえることができる。特にNo.74ではトリリニアダイヤグラムにおいて非常に大きな変化を示すとともに周囲には見られないより極端なNa-HCO_3型を示しており，井戸深度から周囲とは異なるさらに深い位置からの取水であることがうかがえる。

一方，No.3，44及び48の3地点では取水帯水層は変

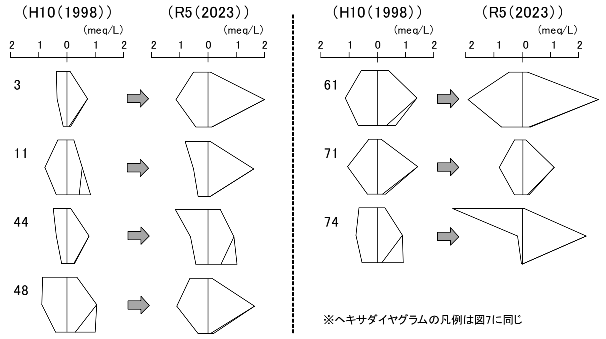

図10 井戸を掘削し直している7地点のヘキサダイヤグラム

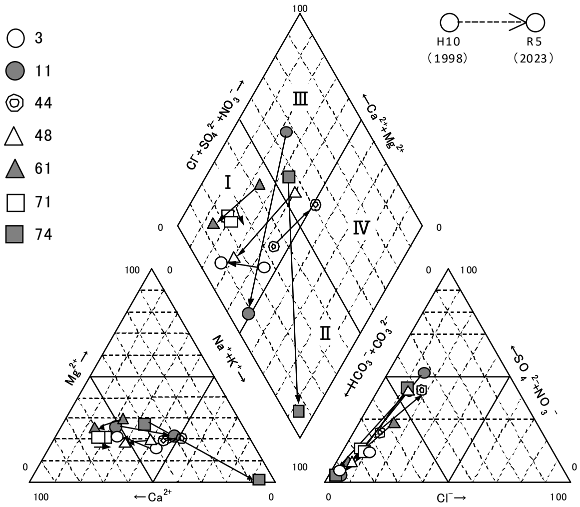

図11 井戸を掘削し直している7地点のトリリニアダイヤグラム

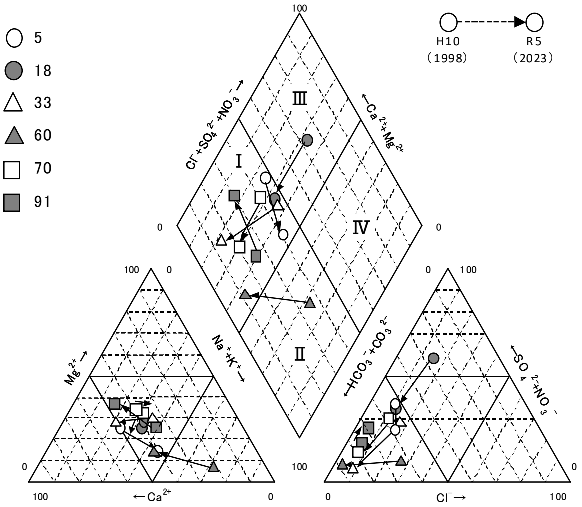

図13 掘削し直した地点以外の水質が大きく変化した地点のトリリニアダイヤグラム

わっていないにも関わらず水質は大きく変化している。このことは，より上位では地表の土地利用の影響を受けるなど，同じ帯水層でも深さごとに異なる水質をもつ地下水が存在することを意味している。

2.3 掘削し直した地点以外の地点

次に，図12及び13に，井戸を掘削し直した地点を除いて水質が大きく変化（トリリニアダイヤグラムでいずれかの成分の割合が20ポイント以上変化）した6地点の水質組成の変化をヘキサダイヤグラム及びトリリニアダイヤグラムとして示した。トリリニアダイヤグラムでは，No.18がⅢからⅠへ，No.60がⅡからⅠへと変化したが，残りの4地点はⅠ領域内での変化にとどまった。ヘキサダイヤグラムでは，No.18及びNo.60の両地点で形状が大きく変化しているが，残りの地点についても溶存成分量が増加し，形状も変化している。

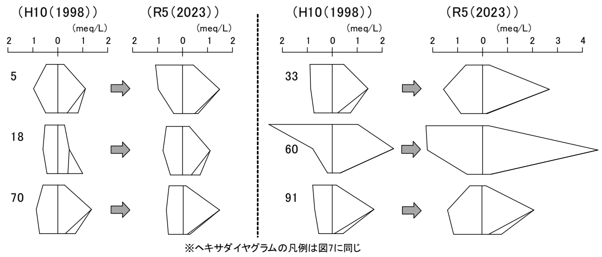

図12 掘削し直した地点以外の水質が大きく変化した地点のヘキサダイヤグラム

ここで，No.60は平成10年（1998年）にはより極端なNa-HCO_3型を示していたが，今回はCa^{2+}濃度が増加しCa,Na-HCO_3型を示した。単純な水質変化の可能性も否定できないが，井戸深度が90mであること及び周囲の地点で大きな水質変化を示した地点がないことを考慮すると，その可能性は低いものと考えられた。そこで，このNo.60の10mほど南側で第1帯水層を取水しているNo.59と平成10年（1998年）調査当時の水質を等量混合した場合の想定される水質（図14）と比較した。溶存成分総量に差はあるものの非常に類似した形を示しており，第1帯水層からの地下水の混入による水質変化の可能性が示唆された。

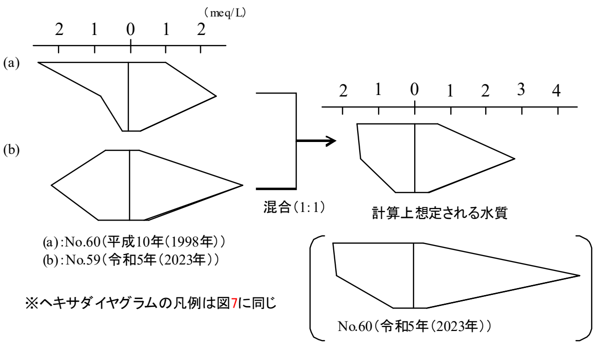

図14 No.59とNo.60（平成10年（1998年）調査当時）の水質を等量混合した場合の想定される水質

3. 地域での比較

3.1 地域区分

平成10年（1998年）の解析では，北東の台地部とそれ以外の地域の2地域に分けて解析を行ったが，今回，北東の台地部以外の地域をさらに3地域に分け，図15に示す中央～北西側平地部(27地点)，南西側台地部(14

地点），南東側平地部（14地点）及び北東側台地部（15地点）の4地域に分けて解析を行った。

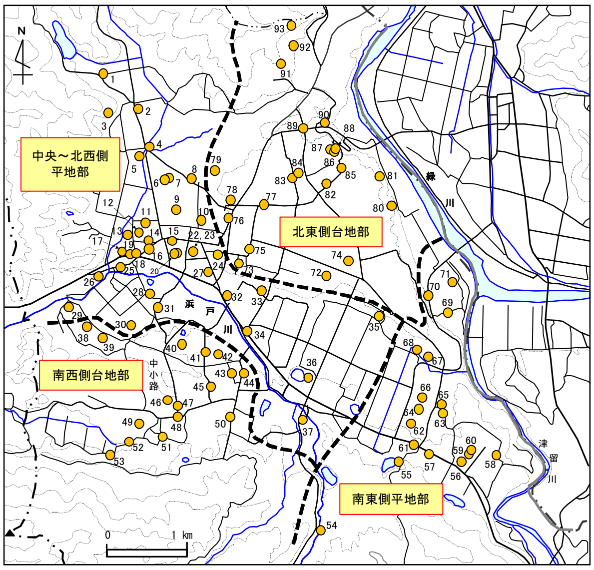

図15 地域区分図

3.2 地域別の各項目の平均値

表3に地域別の各項目の平均値を示した。南東側平地部では，Ca^{2+}とHCO_3^-が他地域に比べて高いがこれは比較的溶存成分の多いCa-HCO_3型の水質を示す地点が多く含まれることによる。また，中央～北西側平地部では，溶存酸素量が4.4mg/Lと他地域に比べて低いが，6地点が2mg/L以下の非常に低い濃度を示すなど濃度の低い地点が含まれることによる。

表3 地域別の各項目の平均値

地域名	中央～北西側平地部	南西側台地部	南東側平地部	北東側台地部
水温(℃)	17.7	17.2	16.4	16.8
pH	6.84	6.90	7.27	7.22
EC	243	215	287	249
Na^+(mg/L)	13.8	12.6	14.4	15.2
K^+(mg/L)	5.6	8.0	3.9	7.2
Mg^{2+}(mg/L)	6.3	4.5	7.7	6.9
Ca^{2+}(mg/L)	20.3	18.0	29.6	16.2
F^-(mg/L)	0.1	0.1	0.2	0.1
Cl^-(mg/L)	9.4	6.6	7.0	8.9
NO_3^-(mg/L)	13.7	18.4	8.7	37.4
NO_3^--N(mg/L)	3.1	4.2	2.0	8.5
SO_4^{2-}(mg/L)	11.8	15.7	13.9	11.8
PO_4^{3-}(mg/L)	0.34	0.26	0.08	0.19
HCO_3^-(mg/L)	95.4	75.2	137.4	70.4
SiO_2(mg/L)	49.6	59.8	45.5	55.6
溶存酸素量(mg/L)	4.4	6.6	5.7	7.5

NO_3^--Nでは，図16に示すように，中央～北西側平地部ではほぼ半数，南東側平地部では2/3以上の地点が2mg/L以下の非常に低い濃度を示したのに対し，北東側台地部では半数弱の7地点が10mg/L以上であるなど高い値を示す地点が多く，この傾向は平成10年（1998年）と変わっていない。なお，その他の項目では特に大きな地域差は見られなかった。

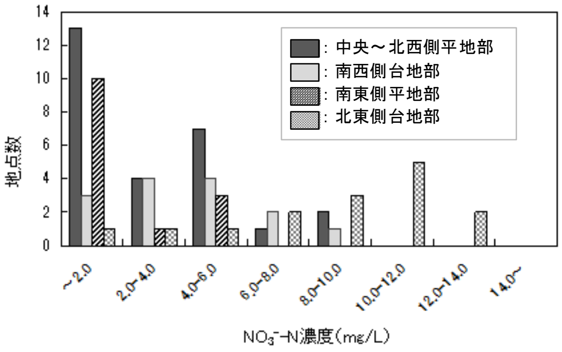

図16 4地域におけるNO_3^--N濃度

3.3 項目ごとの比較

表4に地域ごとの各項目間の相関係数を示した。南東側平地部及び北東側台地部で，pH-F^-間及びNa^+-F^-間の相関が高いが，これはそれぞれNo.60及び74が散布図上1地点のみ離れて位置しているため見かけ上相関が高くなっていることによるものであり，これらの地点を除くと相関は低くなる。また，同じく南東側平地部及び北東側台地部で，SiO_2-K^+間の相関が高い。これは地質との関係を推測しているが，さらなる解析が必要である。一方，南西側台地部でSiO_2-pH，SiO_2-Ca^{2+}及びSiO_2-HCO_3^-間，北東側台地部でSiO_2-pH及びSiO_2-HCO_3^-間で高い負の相関を示しているが，これは南西側台地部ではNo.53，北東側台地部ではNo.74及び91がそれぞれ散布図上1地点のみ離れて位置しているため見かけ上相関が高くなっていることによるものであり，これらの地点を除くと相関は低くなる。

また，北東側台地部を除いてEC-Ca^{2+}間，EC-HCO_3^-間及びCa^{2+}-HCO_3^-間の相関が高いが，Ca-HCO_3型の水質を示す地点が多いことを反映している。

4. 各帯水層のNO_3^--N濃度

表5に4地域の帯水層ごとのNO_3^--N濃度を示した。第1帯水層では，北東側台地部＞南西側台地部＞中央～北西側平地部＞南東側平地部の順であり，平成10年(1998年)当時と変わらないが，その差は小さくなっている。第2帯水層もその順は変わらないが，平成10年（1998年）当時から入れ替わっており，最も濃度が低かった南西側台地部が2番目になっている。第3帯水層は北東側台地部，南東側平地部ともに非常に低い濃度である。

表4　地域別の各項目間の相関係数

	項目	水温	pH	EC	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	F^-	Cl^-	Br^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	PO_4^{3-}	HCO_3^-	SiO_2	標高	DO
		中央～北西側平地部																
南西側台地部	水温		0.32	0.36	−0.08	0.10	0.14	0.25	−0.09	0.05	0.02	0.19	−0.06	0.03	0.07	0.32	−0.07	−0.13
	pH	−0.50		0.18	−0.21	0.04	0.03	0.15	0.27	−0.05	−0.15	−0.10	−0.23	0.43	0.22	0.34	0.05	−0.08
	EC	−0.26	0.51		0.34	0.44	0.78	0.75	−0.03	0.66	0.23	0.29	0.33	0.12	0.51	0.15	0.45	−0.07
	Na^+	0.27	−0.75	−0.09		0.69	0.08	−0.08	−0.08	0.48	0.36	0.43	0.43	−0.06	0.01	0.06	0.00	0.25
	K^+	0.31	−0.79	−0.16	0.86		0.16	−0.07	−0.41	0.48	0.67	0.73	0.54	−0.17	−0.15	0.55	−0.08	0.50
	Mg^{2+}	0.25	−0.33	0.28	0.60	0.49		0.69	0.13	0.42	0.06	0.11	0.13	0.21	0.63	0.07	0.53	−0.32
	Ca^{2+}	−0.39	0.88	0.75	−0.58	−0.67	−0.17		0.27	0.32	−0.26	−0.25	0.00	0.25	0.77	−0.06	0.56	−0.48
	F^-	−0.06	0.50	0.23	−0.31	−0.41	−0.07	0.43		−0.28	−0.73	−0.78	−0.62	0.77	0.66	−0.01	0.22	−0.86
	Cl^-	0.08	−0.49	0.13	0.86	0.59	0.62	−0.24	−0.20		0.51	0.52	0.40	0.04	−0.04	0.03	0.19	0.33
	Br^-	0.36	−0.45	−0.44	0.39	0.30	0.15	−0.26	−0.20	0.43		0.83	0.60	−0.42	−0.47	0.27	−0.24	0.75
	NO_3^-	0.25	−0.65	−0.15	0.82	0.67	0.55	−0.42	−0.44	0.87	0.68		0.58	−0.46	−0.50	0.30	−0.10	0.75
	SO_4^{2-}	0.34	−0.69	−0.05	0.61	0.69	0.24	−0.51	−0.72	0.35	0.13	0.53		−0.61	−0.25	−0.17	−0.02	0.63
	PO_4^{3-}	0.07	0.04	−0.06	0.02	−0.03	0.13	−0.03	0.85	−0.03	−0.06	−0.20	−0.47		0.48	0.27	0.11	−0.61
	HCO_3^-	−0.39	0.90	0.77	−0.57	−0.63	−0.09	0.98	0.49	−0.27	−0.34	−0.49	−0.57	0.05		−0.03	0.46	−0.76
	SiO_2	0.16	−0.89	−0.60	0.65	0.68	0.24	−0.88	−0.40	0.39	0.32	0.50	0.52	0.11	−0.88		−0.18	0.01
	標高	0.08	−0.30	−0.07	0.13	0.26	−0.15	−0.30	0.01	0.02	−0.35	−0.18	0.16	0.21	−0.27	0.36		−0.36
	DO	−0.16	0.29	0.02	−0.42	−0.27	−0.56	0.21	−0.41	−0.39	−0.27	−0.24	0.23	−0.61	0.11	−0.31	0.15	

	項目	水温	pH	EC	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	F^-	Cl^-	Br^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	PO_4^{3-}	HCO_3^-	SiO_2	標高	DO
		南東側平地部																
北東側台地部	水温		−0.15	0.55	0.33	0.29	0.62	0.43	0.09	0.50	0.52	−0.10	0.30	0.50	0.50	0.27	−0.08	−0.43
	pH	−0.68		0.41	0.52	−0.84	0.05	0.43	0.76	0.07	−0.14	−0.64	−0.17	−0.64	0.57	−0.59	0.49	−0.32
	EC	−0.28	0.20		0.76	−0.19	0.67	0.91	0.58	0.61	0.76	−0.23	0.55	−0.07	0.95	0.21	0.48	−0.50
	Na^+	−0.52	0.89	0.04		−0.30	0.11	0.49	0.86	0.30	0.46	−0.20	0.31	0.04	0.76	0.04	0.24	−0.48
	K^+	0.57	−0.61	0.06	−0.44		0.08	−0.34	−0.60	−0.06	0.18	0.60	0.25	0.71	−0.37	0.76	−0.29	0.24
	Mg^{2+}	0.02	−0.43	0.54	−0.71	0.06		0.77	−0.01	0.53	0.64	−0.20	0.37	−0.05	0.63	0.23	0.47	−0.32
	Ca^{2+}	0.08	−0.47	0.50	−0.73	0.04	0.93		0.42	0.63	0.66	−0.38	0.48	−0.31	0.90	0.03	0.51	−0.43
	F^-	−0.70	0.94	0.06	0.92	−0.67	−0.50	−0.54		0.04	0.10	−0.48	0.05	−0.22	0.70	−0.31	0.27	−0.53
	Cl^-	0.53	−0.55	0.28	−0.40	0.82	0.15	0.15	−0.61		0.76	−0.04	0.38	0.14	0.49	0.22	0.15	−0.12
	Br^-	0.31	−0.45	0.14	−0.49	0.14	0.40	0.48	−0.47	0.09		0.22	0.65	0.28	0.58	0.51	0.26	−0.24
	NO_3^-	0.33	−0.59	0.26	−0.56	0.59	0.41	0.32	−0.66	0.64	0.53		0.42	0.42	−0.50	0.76	0.07	0.37
	SO_4^{2-}	0.32	−0.25	0.26	−0.34	0.39	0.26	0.31	−0.47	0.34	0.23	0.18		0.18	0.33	0.70	0.42	−0.10
	PO_4^{3-}	0.30	−0.29	−0.32	−0.17	0.31	−0.25	−0.12	−0.24	0.39	0.06	0.19	−0.19		−0.21	0.46	−0.52	−0.16
	HCO_3^-	−0.64	0.64	0.29	0.48	−0.71	0.08	0.11	0.70	−0.65	−0.29	−0.71	−0.39	−0.36		−0.06	0.41	−0.58
	SiO_2	0.74	−0.73	−0.33	−0.49	0.81	−0.10	−0.11	−0.75	0.71	0.14	0.60	0.26	0.41	−0.89		0.20	0.27
	標高	−0.32	0.38	0.31	0.24	−0.11	0.02	0.05	0.28	0.06	−0.71	−0.26	−0.16	0.00	0.39	−0.25		−0.09
	DO	0.29	−0.44	0.04	−0.32	0.59	0.11	−0.09	−0.47	0.59	0.13	0.78	0.24	−0.02	−0.79	0.66	−0.29	

表5　4地域の帯水層ごとのNO_3^--N濃度

帯水層区分	調査年及び差 (R5-H10)	地域区分			
		南西側台地部	中央～北西側平地部	北東側台地部	南東側平地部
第1	R5	4.50	3.64	8.94	2.80
	差	−2.51	−1.31	−1.96	−0.68
第2	R5	3.73	2.87	9.21	1.92
	差	2.94	0.12	−3.37	−0.58
第3	R5	―	―	0.02	0.03
	差	―	―	―	0.03

北東側台地部のみ第1帯水層と第2帯水層の濃度が逆転しているが，井戸深度から第2帯水層からの取水と判断した井戸には第1帯水層からも取水している井戸が含まれる可能性もあることから，実際に第2帯水層の方がより汚染されているとは断定できない。

平成10年（1998年）との差を見ると，第1帯水層では，ほぼ変化していない南東側平地部を除き全ての地域で減少している。一方，第2帯水層では，中央～北西側平地部及び南東側平地部ではほぼ変化がなく，南西側台地部では3mg/L弱の増加，北東側台地部では3mg/L強の減少と変化が分かれた。このため，全地域で平成10年（1998年）に比べて第1帯水層と第2帯水層との差が小さくなっている。なお，地域南部の大起伏山地を涵養域とする南西側台地部南側の湧水（No.53）は，水質は平成10年（1998年）とほぼ変化していない。

まとめ

熊本県下益城郡美里町北西部（旧中央町北部）において，平成10年（1998年）の調査から地下水質がどのように変化したのか把握した。その結果，次のことが明らかとなった。

1) 水道水質基準を超過するNO_3^--N濃度を示した地点が16地点（うち5地点は採水できず）から7地点へ減少するとともに，平均濃度，最高濃度ともに大きく低下した。また，平成10年（1998年）のNO_3^--N濃度が高ければ高いほど濃度低下が大きい傾向を示した。
2) トリリニアダイヤグラムでは，約3/4の52地点がⅠ（アルカリ土類炭酸塩型）に含まれ，1/5の14地点がⅢ（アルカリ土類非炭酸塩型）に含まれた。平成10年（1998年）調査に比べ，NO_3^--Nによる汚染が進んでいるとされるⅢに含まれる地点の割合が減少した。
3) トリリニアダイヤグラムにより前回の調査時の水質と比較すると，陽イオンは，半数以上の39地点が5ポイント以下という小さな変化にとどまった一方，陰イオンは，半数近くの32地点が10ポイント以上（うち7地点は25ポイント以上）の大きな変化を示した。
4) 井戸を掘削し直した7地点では，取水帯水層が変わったことなどにより水質が変化した。また，これ以外に7地点で大きな水質変化を示したが，このうちNo.60は単純な水質変化の可能性だけでなく，第1帯水層からの混入の可能性も示唆された。
5) 調査地域を4つに分けて解析を行った結果，北東側台地部では半数弱の7地点でNO_3^--Nが10mg/L以上であるなど高い値を示す地点が多く，平成10年（1998年）と同様の傾向を示した。また，一部の項目を除いて，平成10年（1998年）からの変化量は小さかった。
6) 4地域の帯水層ごとのNO_3^--N濃度を比較した結果，第1帯水層及び第2帯水層ともに，北東側台地部＞南西側台地部＞中央～北西側平地部＞南東側平地部の順であった。平成10年（1998年）との差を見ると，第1帯水層では，南東側平地部を除き全ての地域で減少していた。一方，第2帯水層では，中央～北西側平地部及び南東側平地部ではほぼ変化がなく，南西側台地部では3mg/L弱の増加，北東側台地部では3mg/L強の減少と変化が分かれた。

謝　辞

本調査の実施にあたり井戸の確認及び採水調整にご尽力いただきました美里町役場上下水道課の職員の方々に感謝申し上げます。また，井戸所有者の方々には採水及び聞き取りに快く応じてくださったことに深く感謝申し上げます。

文　　献

1) 環境省水・大気環境局：硝酸性窒素等地域総合対策ガイドライン，令和3年（2021年）3月.
2) 小笹康人，廣畑昌章，吉永敏之，福留清秀，松岡良三：熊本県保健環境科学研究所報, 25, 35-40 (1995).
3) 廣畑昌章，松崎達哉，藤田一城，小笹康人，松岡良三：熊本県保健環境科学研究所報, 26, 59-63 (1996).
4) 廣畑昌章，松崎達哉，藤田一城，松下　裕，松岡良三：熊本県保健環境科学研究所報, 27, 71-76 (1997).
5) 廣畑昌章，松崎達哉，藤田一城，松下　裕，松岡良三：熊本県保健環境科学研究所報, 27, 77-82 (1997).
6) 廣畑昌章，藤田一城，永村哲也，松下　裕，松岡良三：熊本県保健環境科学研究所報, 28, 60-65 (1998）.
7) 廣畑昌章，藤田一城，永村哲也，松下　裕，松岡良三：熊本県保健環境科学研究所報, 28, 66-72 (1998）.
8) 熊本県環境生活部環境保全課：平成9年度中央町及びその周辺地域地下水流動調査業務報告書，平成10年（1998年）3月.
9) 熊本県環境公害部：熊本県環境基本計画環境特性図（地図集）－宇城・上益城地域　西部版－, (1995).