

<報 文>

熊本県における地下水質の地域特性*

—メッシュ地図による視覚化の検討—

小 笹 康 人**

キーワード ①地下水質 ②メッシュ地図 ③地域特性 ④ふっ素 ⑤硝酸性窒素

要 旨

熊本県が実施した地下水質測定計画による概況調査等の測定結果を1 km メッシュ地図上で視覚化した。これにより熊本県内の地下水質の分布状況および地域特性を検討した。その結果、ふっ素は県央から県北部の宇城、阿蘇、山鹿の各保健所管内に0.6mg/lを超える比較的高いふっ素濃度を示す地下水がまとまって分布し、天草保健所管内では点在して見られた。その地下水質は、流動過程における地質との関係および流動経過時間の差を反映して地域特性を示した。一方、硝酸性窒素は、5 mg/lを超える地点が、一部地域で集中しているものの調査した地域に広く分布していた。メッシュ地図から汚染の地理的分布、汚染範囲の把握のほか、今後の水質変動を注視する地域を明らかにできた。

1. はじめに

平成元～4年度に実施された熊本県地下水質測定計画概況調査では、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン等の揮発性有機化合物が主な調査対象物質であった。植木ら¹⁾は、それらの試料水2,200余のpH値を測定し、初めて熊本県の地下水質の地域差を明らかにした。その後、硝酸性窒素による地下水汚染問題や地下水環境基準の改正により、概況調査対象項目が硝酸性窒素、ふっ素、ほう素に移行した。これに伴い、平成7～15年度までの概況調査²⁾のすべての試料について、pH、導電率(以下ECとする)および主要イオン成分の測定を同時に実施した。

今回、ふっ素と硝酸性窒素の測定結果を1 kmメッシュ地図上で視覚化し、検討を加えた結果、地下水質の分布状況が容易に把握できたので報告

する。

2. 調査方法

2.1 試料の諸元

市町村の名称および数は平成15年の市町村合併前の名称で94市町村とした。「地下水質測定計画」に基づく概況調査は、熊本市を除く93市町村が既存の井戸から選定した地点について実施した。調査地点の井戸所有者名、井戸所在地、井戸深度、取水深度、用途、メッシュ番号等は市町村が選定書に記載した事項を用いた。井戸深度は記載値を採用したが、結果の評価には取水深度は考慮しなかった。調査地点の位置を示すメッシュ番号等の明らかな間違いは修正した。

2.2 測定項目と方法

試料は、管轄保健所の担当者により500mlのポ

*Local Characteristic of the Quality of Groundwater in Kumamoto Prefecture –Examination of the Visualization with the Mesh Map–

**Yasuhito OZASA (熊本県保健環境科学研究所) Kumamoto Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science

り容器に満水採水して当研究所に当日または翌日に搬入された。

pH、EC および HCO_3^- は搬入直後に測定し、イオン成分は搬入後速やかに測定した。硝酸性窒素濃度は NO_3^- 濃度から算出した。測定方法は以下のとおりである。

pH：ガラス電極法(堀場 F-22)。EC：電極法(堀場 D-22)。 HCO_3^- (アルカリ度)：BCG-硫酸中和滴定法。 F^- 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 Br^- 、 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} および Mg^{2+} ：イオンクロマトグラフ法(HP-IC7000D)。

2.3 結果の扱い

平成7～15年度に調査した2,791地点を対象とした。複数回測定した地点は測定結果の平均値を用いたため2,385地点で検討した。熊本市におけるふっ素および硝酸性窒素の濃度は、水質調査報告書³⁾から平均値を算出し引用した。1 km メッシュ地図(環境庁発行：都道府県別メッシュマップ)による表示は、メッシュ内に複数の測定値がある場合は最大値を採用した。メッシュ地図には検討した2,385地点のうちメッシュ番号が不明なものを除いた2,375地点、熊本市のふっ素69地点および硝酸性窒素122地点を加えて表示した。

ふっ素については、詳細調査地点の選定濃度0.6mg/l以上(地下水環境基準の約8割)を基に、硝酸性窒素は、後述の硝酸性窒素削減計画における管理水質(5 mg/l 以下)を基に検討を加えた。

なお、熊本市の結果は、定点監視調査地点と環境基準を超過した汚染地区調査地点のものであるため、本報ではメッシュ地図表示における検討だけにとどめた。

3. 結果および考察

3.1 地下水中のふっ素濃度の分布と地域特性

ふっ素は自然由来として海水中に1.3mg/l程度含まれるほか、 CaF_2 を成分とする蛍石、火山ガス、一部の温泉水にも含まれる。さらには、多くの食品中にも含まれる。近年、工業的にもふっ素化合物が使用されていることから、排水基準(8 mg/l 以下：海域以外の公共用水域)および地下水環境基準(0.8mg/l 以下)が定められている。一部では虫歯予防のため歯牙にふっ化物の塗布が行われているが、長期間ふっ素濃度の高い水を飲用・摂取

した場合、斑状歯、骨硬化症等の慢性中毒症状を発症する。このため、水道法ではふっ素の水質基準(以下「基準」という)は0.8mg/l 以下と決められている。

熊本県内の地下水中ふっ素濃度の度数分布(熊本市を除く)を図1に、各保健所管内別の分布を表1に示す。ふっ素が検出(0.01mg/l 以上)されたのは2,019地点(84.6%)で、検出された試料の算術平均は0.16mg/lであった。検出されたふっ素濃度の最大値は、本渡市(天草保健所管内、以下「保健所」を省略して表示する)の4.55mg/lで、次いで菊鹿町(山鹿管内)3.68、3.48mg/l、鹿央町(同)3.47mg/lであった。

ふっ素濃度が基準を超えたものは、54地点で全地点数の2.3%であり、うち24地点が「飲用」であった。本県の超過率は、平成11～14年度までの全国の概況調査結果による0.4～1.2%⁴⁾と比べ高い超過率であった。

基準超過率が高い地域は、阿蘇管内の7.0%(20地点)、続いて山鹿管内6.1%(8地点)、宇城管内4.2%(12地点)であった。一方、人吉管内では全試料の71.6%で検出(算術平均0.08mg/l)されたが、基準を超えた地点はなかった。

図2にメッシュ地図によるふっ素濃度の地理的分布状況を、図3にふっ素濃度が基準を超過した地下水質の組成をキーダイアグラムで示した。図2から、県央から県北部の宇城、阿蘇、山鹿の各管内に0.6mg/lを超える比較的高いふっ素濃度を示す地下水がまとまって分布し、天草管内

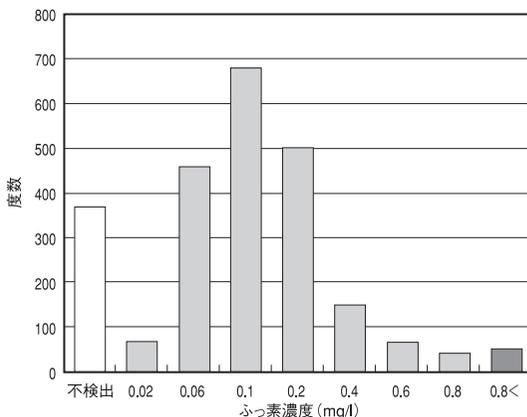


図1 熊本県内の地下水中ふっ素濃度の度数分布(n=2,385)

表 1 保健所管内別の地下水中のふっ素濃度の度数分布 (n=2, 385)

保健所	ふっ素濃度 (mg/l)										
	<0.01	~0.02	~0.06	~0.1	~0.2	~0.4	~0.6	~0.8	0.8<	Ave.	Max.
有明	51	6	48	36	33	13	2	2	2	0.13	2.31
山鹿	12	4	43	26	23	10	3	3	8	0.25	3.68
菊池	24	6	59	32	13	2	2	1	2	0.11	1.79
阿蘇	34	1	24	57	62	39	28	21	20	0.31	2.22
御船	24	8	56	75	39	7	0	0	1	0.10	2.73
宇城	23	14	46	65	84	18	13	12	12	0.20	2.09
八代	25	5	48	81	49	21	7	3	4	0.14	1.06
水俣	6	2	9	46	35	8	5	0	1	0.14	1.40
人吉	113	15	83	149	34	3	0	2	0	0.08	0.79
天草	54	5	42	111	129	29	8	0	4	0.15	4.55
熊本県	366	66	458	678	501	150	68	44	54	0.16	4.55

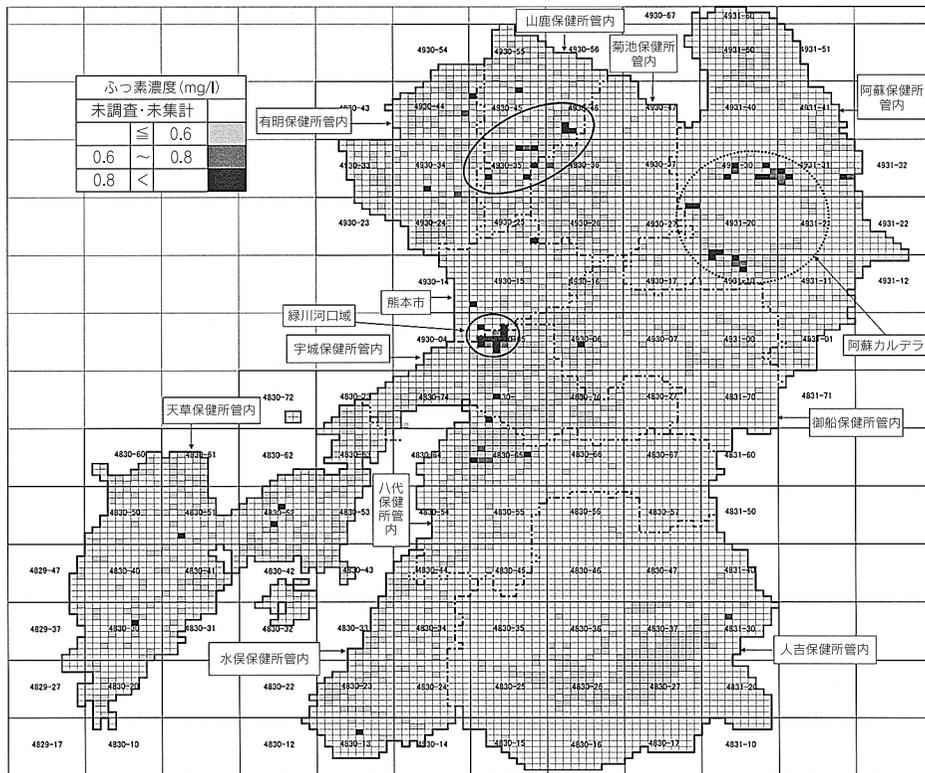


図 2 熊本県内の地下水中のふっ素濃度の分布

では点在して見られた。

図 3 から、阿蘇管内超過地点の水質は I の炭酸カルシウム型及び V の中間型を示し、山鹿、宇城、天草管内の基準超過地点の多くが II の炭酸ナトリウム型の水質を示した。

一般的な地下水は、炭酸カルシウム型を示し、流動に伴い岩石や地層に含まれる Na⁺とのイオ

ン交換により、次第に炭酸ナトリウム型へと変化する⁵⁾。すなわち、地下水は流動過程における土壌、帯水層地質との関係および流動経過時間の影響を反映した水質組成を示す。このことから、地下水の水質組成とふっ素濃度との関係を管内別に検討した。

阿蘇管内の基準超過地点は、多くが阿蘇カルデラ

ラ内の阿蘇町(超過数5地点, 超過率25.0%), 一の宮町(同5地点, 21.7%), 長陽村(同5地点, 21.7%), 久木野村(同3地点, 11.1%), 白水村(同2地点, 5.7%)に分布していた。阿蘇管内には14の温泉群があり, そのうち阿蘇カルデラ内の6温泉群の泉質は硫酸ナトリウム型^{6),7)}であった。阿蘇管内の地下水は廣畑の湧水調査報告^{8),9)}と同様に炭酸カルシウム型および非炭酸カルシウム($\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}$)型で占められ, 基準を超えた地下水も同様な水質区分に分類された。

このことから, 基準を超える地下水中のふっ素は降水が火山灰や火山岩地層を速やかに浸透・流動する過程で, それらに含有されるふっ素を溶解させた結果と考えられた。

また, 基準超過地点の一部には水温が30℃と高く, 非炭酸ナトリウム($\text{Na}^{+}-\text{SO}_4^{2-}$)型で近隣の温泉水と同じ性状を示すものが見られ, 温泉水の

混入が推察された。

山鹿管内の基準超過地点は, 菊鹿町(超過数3地点, 超過率12.0%), 山鹿市(同2地点, 11.7%)のほか, 鹿本町, 鹿央町, 植木町の各1地点で超過率はそれぞれ3.0%, 5.2%, 6.2%であった。管内の地下水は炭酸カルシウム型がもっとも多く, 他に炭酸ナトリウム型と中間型が分布し, 基準超過した地下水は7地点が炭酸ナトリウム型で, 菊鹿町の1地点のみが炭酸カルシウム型を示した。

同地域周辺には菊池市北部から菊鹿町, 山鹿市, 玉名市北部までの一帯に花コウ岩, 安山岩, 雲母片岩等の火成岩類の地層が分布しており¹⁰⁾, 同地域の温泉はふっ素を0.22~32.35mg/kg含む炭酸ナトリウム型のアルカリ性単純泉^{6),7)}が多くを占めている。

このことから, 基準を超える高濃度のふっ素は火成岩地層に由来するものであり, かん養された地下水が火成岩地層を時間をかけて流動する過程で Na^{+} とのイオン交換により炭酸ナトリウム型に変化し, その間に火成岩類に含まれるふっ素を溶出した結果と考えられた。

宇城管内では富合町(超過数9地点, 超過率30.0%), 宇土市(同2地点, 7.7%), 松橋町(同1地点, 2.9%)に基準超過地点が分布し, 多くが緑川河口域に分布していることが分かった。なかでも富合町全体のふっ素濃度の平均値は0.67mg/lであり高濃度で検出された。

基準超過地点が分布する富合町, 宇土市および松橋町の地下水について, 水質組成別のふっ素濃度を表2に示した。

表2から, 炭酸カルシウム型のふっ素濃度は, 全て0.2mg/l未満であった。炭酸ナトリウム型のふっ素濃度は0.13~2.09mg/l, 平均値は0.69mg/lであり9地点が基準超過であった。非炭酸ナトリウム型のふっ素濃度は0.14~1.40mg/l, 平均値は

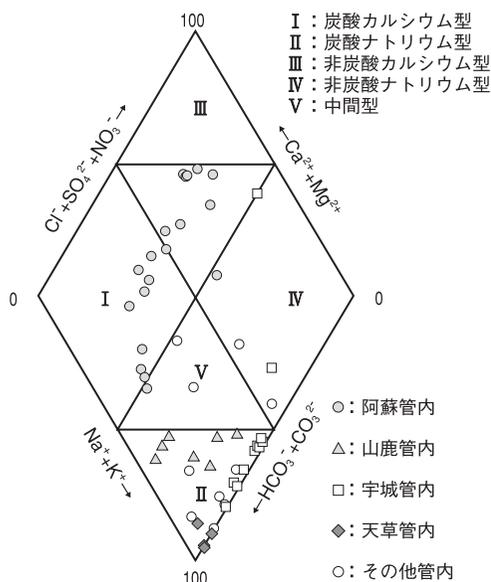


図3 ふっ素濃度基準超過地下水のキーダイアグラム

表2 宇城管内3市町における地下水の水質組成別ふっ素濃度

水質組成の型	炭酸カルシウム型	炭酸ナトリウム型	非炭酸カルシウム型	非炭酸ナトリウム型	中間型
分類地点数	29	32	1	11	17
濃度範囲(mg/l)	<0.2	0.13~2.09	0.04	0.14~1.40	0.03~0.72
平均値(mg/l)	0.11	0.69	—	0.47	0.18
基準超過地点数	0	9	0	2	0

0.47mg/lであり2地点が基準超過であった。中間型のふっ素濃度は0.03~0.72mg/l、平均は0.18 mg/lであった。

このように、この地域では水質組成によってふっ素濃度が異なっていることが分かった。

緑川河口域一帯は、新生代第四紀完新世には海水域でありシルト、砂質シルト、粘土層の有明粘土層が分布し、その下層に砂礫層、シルト層、泥炭層からなる島原海湾層およびAso-4火砕流堆積物層が分布している¹¹⁾。本地域で利用されている帯水層は、記載された井戸深度から第1帯水層となる島原海湾層およびAso-4火砕流堆積物層と考えられる。この一帯は帯水層の水位勾配が緩く流動が小さいため滞留性が高いとされている。

9地点の基準超過が見られた炭酸ナトリウム型の地下水はこの影響を受け、非炭酸ナトリウム型の2地点は、地下水のBrとClの濃度比(Br/Cl値)が0.0035から0.0041と海水のBr/Cl値(0.0035)に近く、海水の影響も受けていると考えられる。本地域の地下水中の高濃度ふっ素は、地理的分布状況が海成地質の分布と重なることから地質由来と推察されるが、供給源となる地層は不明である。

3.2 地下水中硝酸性窒素濃度の地理的分布

熊本県は、地下水における硝酸性窒素濃度に関して平成元~3年度までは概況調査の参考項目として、平成元~3年度および平成6年度は5 mg/l程度以上の比較的高濃度を示した地点およびその周辺について追跡調査をそれぞれ実施してきた。

平成7年度には、これまでの調査で高濃度(8 mg/l程度以上)であった地点周辺で汚染範囲の把握のための詳細調査を実施した。これらの結果からその地域の地下水質の概要は把握されたが限定的な状況把握であった。

平成13年度までに地下水中の硝酸性窒素が環境基準(10mg/l以下)を超える濃度で検出された汚染地区が、全94市町村のうち48市町村で確認され、さらに本報の調査結果を併せると、約60%に当たる57市町村で汚染地区が確認された。平成7~15年度に調査した2,385地点の地下水中硝酸性窒素濃度の度数分布を図4に示す。この調査結果から硝酸性窒素濃度が2 mg/l以下は62.3%、2~5mg/lは24.0%、5~10mg/lは10.5%、10mg/lを超える基準超過は3.2%であり、平均値は2.4

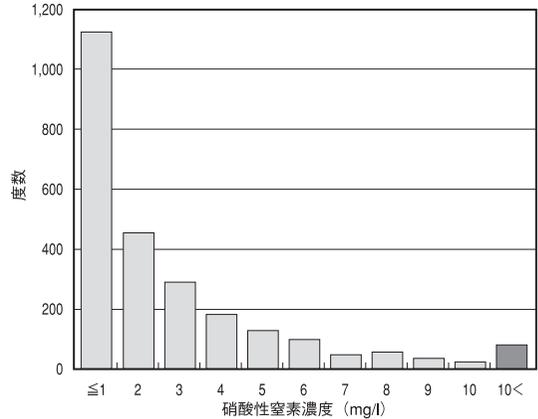


図4 熊本県内の地下水中硝酸性窒素濃度の度数分布 (n=2,385)

mg/lであった。

また、上記の調査地点の結果に詳細調査の結果および熊本市の結果を加えて作成したメッシュ地図による硝酸性窒素濃度の地理的分布状況を図5に示す。

図5から明らかなように硝酸性窒素濃度が基準を超える地点は、一部地域で集中しているものの調査した地域に広く分布していた。とくに植木台地を含む1市5町にまたがる一帯に、汚染地点(最大値37.7mg/l)が集中して分布しているほか、熊本市北西部(最大値21.5mg/l)、有明管内の荒尾市(最大値30.9mg/l)にも汚染地点が集中していた。これらの地域では、畑作および果樹栽培における窒素の過剰施肥や畜産施設における不適切な排水処理および糞尿処理が、硝酸性窒素による地下水汚染と深く関連していることがそれぞれの汚染原因調査で判明している¹²⁾。

また、図5による分布状況から、基準超過地点の周辺や基準超過地点間を繋ぐように5 mg/lを超える地点が分布することから、5 mg/lを超える濃度は環境への人為的な窒素過負荷との関連が強く示唆された。このように濃度をメッシュ地図上で視覚化し示すことによって、汚染の地理的分布とともに汚染範囲の把握のほか、汚染状況には至らないが今後の水質変動を注視し監視すべき地域や範囲を読みとることができた。

熊本県では水道水源の約8割を地下水に依存していることから、地下水汚染物質としての硝酸性

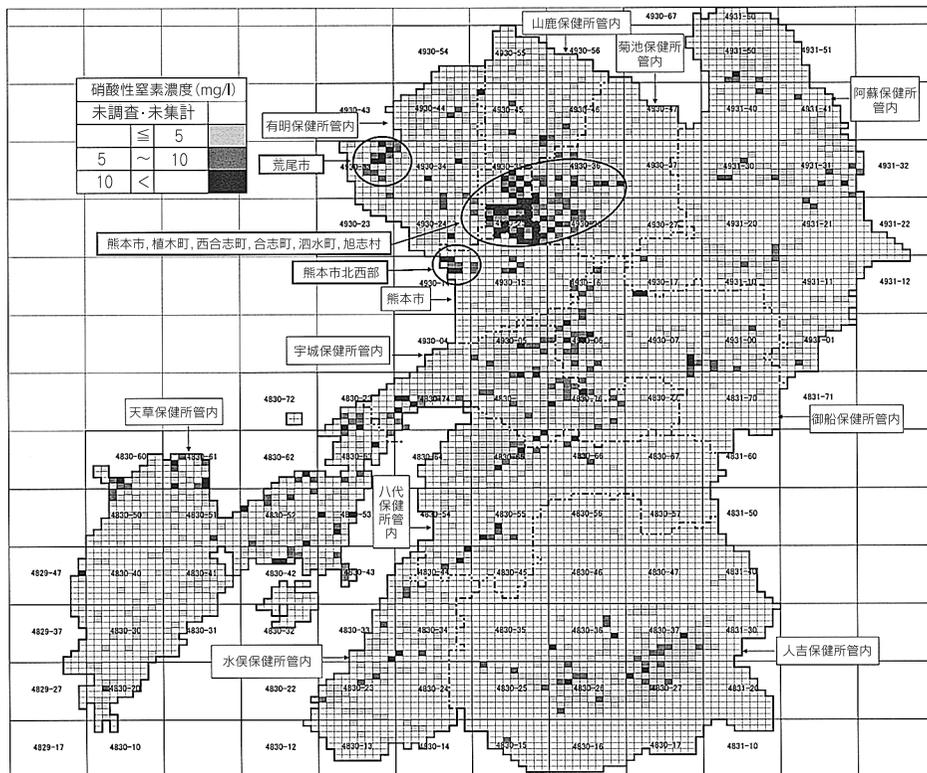


図5 熊本県内の地下水中の硝酸性窒素濃度の分布

窒素の削減計画を各種の調査結果等に基づきそれぞれの対象地域ごとに作成し、農業従事者、JA、行政機関および地域住民等のパートナーシップにより環境への負荷量削減に取り組み始めた。荒尾地域¹³⁾では平成15年度から、熊本市を含む周辺16市町村を対象とする熊本地域¹⁴⁾では平成17年度から、それぞれ削減計画が実施され、今後、窒素削減効果を評価するための監視調査が行われる予定である。

4. ま と め

熊本県の地下水質測定計画概況調査等の試料について、ふっ素および硝酸性窒素の濃度の結果をとりまとめた。

地下水質の地理的分布状況を把握するため、ふっ素および硝酸性窒素の濃度をそれぞれ1kmメッシュ地図上で視覚化した。

ふっ素濃度の地理的分布は県央から県北部の宇城、阿蘇、山鹿管内に0.6mg/lを超える比較的高

濃度を示す地下水が集中して分布し、天草管内では点在して見られた。また、山鹿、宇城、天草管内の基準超過地点の多くが炭酸ナトリウム型の水質を示し、阿蘇管内の超過地点の水質は炭酸カルシウム型及び中間型を示した。このことから、それぞれの地域における地下水質は、土壌、帯水層地質との関係および流動経過時間の差異が地下水質に反映することが分かった。

硝酸性窒素濃度が基準を超える地点は、調査地域に広く分布していた。植木台地を含む1市5町にまたがる一帯では、汚染地点が集中し、熊本市北西部地域、有明管内の荒尾地域でも集中していた。また、基準超過地点の周辺や基準超過地点間を繋ぐように5mg/lを超える地点が分布することから、5mg/lを超える濃度は環境への人為的な窒素過負荷との関連が強く示唆された。ふっ素および硝酸性窒素濃度をメッシュ地図上で視覚化することで、水質の地理的分布とともに汚染範囲の把握のほか、汚染状況には至らないが今後の水

質変動を注視し監視すべき地域や範囲を読みとることができた。

作成したメッシュ地図は、新たな結果を地図上に追加するとともに、今回検討に加えなかった主要イオン成分や各種調査で得られた地下水質項目の濃度等を地図上に視覚化することで、地域ごとの地下水の特徴をより正確に精度よく把握することが可能になる。

これにより、地下水質における自然的由来と人為的汚染の判別を行う検討資料、地下水を利用する地域住民の健康管理及び地下水利用を伴う地域の活用法、水源開発の有用な資料としての活用が期待できる。

謝 辞

地下水質データの蓄積は、これまで地下水科学室に在籍した室員の長年にわたる協力と成果によるものです。執筆に当たり各位に感謝します。

キーダイアグラム作成プログラムは、平成15年度末に本県を退職された塘岡穰氏が作成されたものを利用していただいた。また、エクセル上で

のメッシュ番号を利用した地図作製プログラムは現環境保全課の河野孝一氏によるものです。ここに両氏に対し謝意を表します。

— 参考文献 —

- 1) 植木 肇, 小笹康人, 森山秀樹: 熊本県の地下水のpH値の分布, 熊本県保健環境科学研究所報, **24**, 36, 1994.
- 2) 熊本県: 平成7年度~平成15年度地下水質測定計画, 1995~2003.
- 3) 熊本県: 平成13年度水質調査報告書, 2002.
- 4) 環境省 HP: 平成13~16年版環境白書, 2001~2004.
- 5) 村下敏夫: 改著地下水学要論, 172~173, 昭晃堂, 東京, 1976.
- 6) 熊本県衛生研究所: 熊本県鉱泉誌, 1965.
- 7) 熊本県衛生公害研究所: 熊本県鉱泉誌第Ⅱ巻, 1978.
- 8) 廣畑昌章: 阿蘇郡北部6町村の湧水の特性について, 熊本県保健環境科学研究所報, **25**, 54, 1995.
- 9) 廣畑昌章: 阿蘇郡南部6町村の湧水の特性について, 熊本県保健環境科学研究所報, **26**, 64, 1996.
- 10) 熊本県: 熊本県環境基本計画環境特性図(地図集), 1997.
- 11) 社)熊本県地質調査業協会地盤図編纂委員会編: 熊本市周辺地盤図, 2003.
- 12) 熊本県保健環境科学研究所: 硝酸性窒素による地下水汚染機構解明調査報告書(平成7~9年度調査結果), 2000.
- 13) 熊本県: 荒尾地域硝酸性窒素削減計画, 2003.
- 14) 熊本県: 熊本地域硝酸性窒素削減計画, 2005.