

熊本市の地下水質の経年変化について

津留靖尚 末吉栄志 赤星博興 岩永貴代 岩男明良*¹ 新屋拓郎*²

村上睦子*³ 森正徳*⁴ 馬場正寛 中熊秀光 田島幸治

*¹ 現 水道局水源課水質検査室 *² 熊本市役所退職

*³ 現 動植物園 *⁴ 現 市民病院薬剤部

1. はじめに

熊本市は、良質で豊富な地下水に恵まれており、67万市民の生活用水を全て地下水で賄っている。この豊かな地下水は、阿蘇火山の過去4回にわたる大爆発により噴出した火砕流堆積物から成る間隙に富んだ水を通しやすく貯め易い地質と、周辺の山地や畑地に降り注ぐ降水や台地部の水田地帯における灌漑用水によってもたらされている。

しかしながら、近年、地下水位の低下や湧水量の減少が見られることから、熊本市では、市内全域に観測井を設けて水位の動向を監視している。

一方、地下水質についても、火山性の地層は水とともに汚染物質も通しやすいという側面を持ち合わせており、本市においても、これまでに硝酸性窒素やテトラクロロエチレンによる地下水の汚染が見られている。そこで、平成元年から、地下水汚染の早期発見により健康被害の防止や汚染の拡大を防ぐため、市内全域に設置された観測井を用いて定期的な地下水質の監視を行っている。

当研究所では、平成7年の新築移転を機に分析機器の整備を図り、これらの水質分析を行うようになった。それから10年が経過したことから、これまでの測定結果を取りまとめたのでその概要を報告する。

2. 調査の概要

2.1 調査地点

本市は、阿蘇西麓台地の末端に位置しており、山地丘陵部の山林や台地部の畑地、水田で涵養された地下水は、白川中流域を経て熊本市に流入している。地下水の主な流れは、図1に示したように戸島山の東南側を通り江津湖に向かっており、一部は白川沿いに立田山と小山山の間を通り流下する地下水もある。これらの地下水は、江津湖周辺で西に向きを変えながら熊本平野部を経て有明海に流出している。また、植木台地で涵養された地下水は、坪井川沿いに南西に流動しており、この他にも、南部の山地丘陵から熊本平野へ向かう地下水の流れもある。観測井は、これらの地下水の流れに沿って設置されている。

一方、帯水層は、主に阿蘇火山の最も新しい噴出物であるAso-4や段丘砂礫層から成る第1帯水層と粘土層を挟んでAso-1～3や砥川溶岩から成る被圧地下水を含む



図1 地下水の流動と観測井の配置

第2帯水層に区分されており、観測井もこれらの帯水層毎に設けられている。観測井は、昭和61年に水前寺地区に設置されて以降これまでに19地区で計33本が設けられている。

地下水質の監視は、平成元年6月に開始しており、市の設置した観測井と事業所等が所有している11本の井戸の合計44本で行ってきた（表1）。

2.2 調査項目及び回数

調査項目は、水質汚濁防止法に基づく地下水の水質汚濁に係る環境基準項目（26項目）と要監視項目（27項目）とし、カルシウムイオンや重炭酸イオンに代表される地下水の主要成分についても調査を行った。分析法は、それぞれの基準に定められた方法或いはそれに準じた方法を用いた。基準項目の報告下限値は、熊本県地下水質測定計画に基づいて表2のとおりとし、要監視項目については、指針値の1/10とした。

調査回数は、熊本地域の地下水の水位が6月頃に最も低くなり、梅雨や水田の灌漑用水の影響を受けて上昇し、10月頃に最も高くなるという変動パターンを繰り返していることから、6月と10月の年2回とした。

なお、今回は、当研究所で分析を行うようになった平成7年10月から平成17年10月までの21回の調査を解析の対象とした。なお、ポンプの故障等で欠測した井戸や、基準項目等の改正により調査期間の異なる項目もあった。

3. 調査結果

3.1 環境基準項目

環境基準項目のうち過去10年間で基準を超えて検出されたことのある項目は、表3に示したように砒素、ほう素、ふっ素、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素、テトラクロロエチレン及び鉛の6項目であった。また、四塩化炭素も検出されたが、環境基準は超えていなかった。以下に、それぞれの項目の検出状況についてまとめた。

表3 環境基準項目等の検出状況

区分	項 目 名	検出井戸 (本)	超過井戸 (本)	超過井戸	
1	環境基準項目	砒素	5	2	T52、T53
2		ほう素	44	2	T21、T45
3		ふっ素	37	4	T21、T45、T46、T101
4		硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	36	1	T39
5		テトラクロロエチレン	3	1	T101
6		鉛	3	1	T101
7		四塩化炭素	2	0	
8	要監視項目	全マンガン	38	8	T2、T14、T34、T42、T45、T46、T101、T102
9		ウラン	11	0	

*超過井戸の下線は、平成17年10月時点でも超過している井戸

表1 調査井戸の諸元

	番号	地区、区分	深度 (m)	スレーナ位置 (m)	用途
1	T- 2	坪井	40	—	雑用
2	T- 3	上南部	50	—	農業用
3	T- 4	鹿埴瀬	60	—	農業用
4	T- 5	戸島	130	—	農業用
5	T- 6	蓮台寺	90	—	工業用
6	T- 7	野口	50	—	雑用
7	T- 8	元三	120	—	農業用
8	T- 9	水前寺	56	39.0～ 50.0	監視用
9	T- 10	田迎 浅井戸	35	22.3～ 33.3	監視用
10	T- 11	田迎 深井戸	110	97.0～108.0	監視用
11	T- 12	日向東	100	—	監視用
12	T- 13	日向西	100	—	監視用
13	T- 14	力合 浅井戸	46	31.7～ 42.7	監視用
14	T- 15	力合 深井戸	155	121.5～138.0	監視用
15	T- 17	御幸 深井戸	112	95.3～106.3	監視用
16	T- 18	御幸 浅井戸	41	24.7～ 35.7	監視用
17	T- 19	中島 深井戸	210	127.5～149.5	監視用
18	T- 20	中島 中井戸	100	51.4～ 67.9	監視用
19	T- 21	中島 浅井戸	15	6.8～ 12.3	監視用
20	T- 32	江津 No. 1	25	2.0～ 25.0	監視用
21	T- 33	江津 No. 2	25	2.0～ 25.0	監視用
22	T- 34	白川 深井戸	65	39.5～ 55.4	監視用
23	T- 35	白川 浅井戸	21	10.4～ 15.9	監視用
24	T- 36	上南部	110	71.4～ 93.5	監視用
25	T- 38	梶尾	80	—	雑用
26	T- 39	西梶尾	80	—	雑用
27	T- 40	健軍	71	48.0～ 59.0	監視用
28	T- 41	北部 浅井戸	60	54.0～ 59.5	監視用
29	T- 42	北部 深井戸	100	83.5～ 94.5	監視用
30	T- 43	笛田 浅井戸	80	34.7～ 51.2	監視用
31	T- 44	笛田 深井戸	115	82.3～ 98.8	監視用
32	T- 45	天明 浅井戸	10	4.5～ 10.0	監視用
33	T- 46	天明 中井戸	93	53.2～ 75.2	監視用
34	T- 47	天明 深井戸	145	112.0～145.0	監視用
35	T- 48	河内	110	71.5～ 82.5	監視用
36	T- 49	花園 浅井戸	32	15.5～ 26.5	監視用
37	T- 50	花園 深井戸	81	59.0～ 75.5	監視用
38	T- 51	長嶺	137	120.5～131.5	監視用
39	T- 52	飽田 浅井戸	109	71.9～ 93.7	監視用
40	T- 53	飽田 深井戸	135	113.0～129.5	監視用
41	T- 54	龍田	120	—	工業用
42	T- 55	鹿子木	100	—	雑用
43	T-101	春竹 浅井戸	10	4.9～ 9.9	監視用
44	T-102	春竹 深井戸	55	44.0～ 55.0	監視用

表2 調査項目一覧 (1) 環境基準項目

	項 目 名	基準値 (mg/l)	報告下限値 (mg/l)
1	カドミウム	0.01	0.001
2	全シアン	検出されないこと	0.1
3	鉛	0.01	0.005
4	六価クロム	0.05	0.04
5	砒素	0.01	0.005
6	総水銀	0.0005	0.0005
7	アルキル水銀	検出されないこと	0.0005
8	P C B	検出されないこと	0.0005
9	ジクロロメタン	0.02	0.002
10	四塩化炭素	0.002	0.0002
11	1,2-ジクロロエタン	0.004	0.0004
12	1,1-ジクロロエチレン	0.02	0.002
13	シス-1,2-ジクロロエチレン	0.04	0.004
14	1,1,1-トリクロロエタン	1	0.0005
15	1,1,2-トリクロロエタン	0.006	0.0006
16	トリクロロエチレン	0.03	0.002
17	テトラクロロエチレン	0.01	0.0005
18	1,3-ジクロロプロパン	0.002	0.0002
19	チウラム	0.006	0.0006
20	シマジン	0.003	0.0003
21	チオベンカルブ	0.02	0.002
22	ベンゼン	0.01	0.001
23	セレン	0.01	0.005
24	硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	10	0.01
25	ふっ素	0.8	0.08
26	ほう素	1	0.01

(3) イオン成分等

	項 目 名	報告下限値 (mg/l)
1	重炭酸イオン	0.1
2	硫酸イオン	0.1
3	カリウムイオン	0.1
4	カルシウムイオン	0.1
5	マグネシウムイオン	0.1
6	ケイ酸	1

(2) 要監視項目

	項 目 名	指針値 (mg/l)	報告下限値 (mg/l)
1	クロロホルム	0.06	0.006
2	トランス-1,2-ジクロロエチレン	0.04	0.004
3	1,2-ジクロロプロパン	0.06	0.006
4	p-ジクロロベンゼン	0.2	0.02
5	イソキサチオン	0.008	0.0008
6	ダイアジノン	0.005	0.0005
7	フェニトロチオン (MEP)	0.003	0.0005
8	イソプロチオラン	0.04	0.004
9	オキシ銅	0.04	0.004
10	クロロロタロニル (TPN)	0.05	0.005
11	プロピザミド	0.008	0.0008
12	E P N	0.006	0.0006
13	ジクロロボス (DDVP)	0.008	0.0008
14	フェノブカルブ (BPMC)	0.03	0.003
15	イプロベンホス (IBP)	0.008	0.0008
16	クロロニトロフェン (CNP)	—	0.005
17	トルエン	0.6	0.06
18	キシレン	0.4	0.04
19	フタル酸ジエチルヘキシル	0.06	0.006
20	ニッケル	—	0.01
21	モリブデン	0.07	0.007
22	アンチモン	0.02	0.002
23	塩化ビニルモノマー	0.002	0.0002
24	エピクロロヒドリン	0.0004	0.0004
25	1,4-ジオキサン	0.05	0.005
26	全マンガン	0.2	0.02
27	ウラン	0.002	0.0002

(1) 砒素

砒素は、調査した 44 本の井戸のうち図 2 に示した 5 本から報告下限値の 0.005 mg / l を超えて検出され、そのうち飽田地区浅井戸 (T52) と同深井戸 (T53) の 2 本は環境基準 (0.01 mg / l) を超えていた。両者の平均値は、それぞれ 0.018 mg / l と 0.017 mg / l で、調査期間を通してほぼ平均値前後の濃度で推移していた (図 3)。また、力合地区浅井戸 (T14)、中島地区深井戸 (T19) 及び天明地区深井戸 (T47) から、 0.006 mg / l 前後の砒素が継続して検出された。

平成元～3 年に行われた地下水質調査によると、西部地域では、地下水が停滞し地層の還元状態が進み、土壌中の砒素が地下水へ溶出することが報告されている¹⁾。検出された井戸はこの地域に分布していた。

(2) ほう素

ほう素は、平成 8 年 10 月から調査を開始しており、全ての地点で報告下限値の 0.01 mg / l を超えて検出された。そのうち、西部地域の中島地区浅井戸 (T21) と天明地区浅井戸 (T45) は、環境基準 (1 mg / l) を超えており、平均値はそれぞれ 1.8 mg / l と 1.1 mg / l であった (図 2)。これらの井戸の深さは 10m 前後で、同じ地区にある深さ 50～70m の中井戸 (T20、T46) 及び野口地区の T7 からは $0.4 \sim 0.5 \text{ mg / l}$ 、深さ 70m 以上の深井戸 (T19、T47) 及び飽田地区浅井戸 (T52) と同深井戸 (T53) からは 0.2 mg / l 程度検出され、浅い層ほど高濃度であった。一方、これ以外の井戸は、全て 0.1 mg / l 以下で、西部地域が他の地域に比べて高濃度であった。

経年的な濃度変化は、図 3 に示したように T21 と T45 は、共にわずかながら減少傾向を示しており、T45 は平成 15 年度以降、基準値以下となっている。

ほう素は、平成 11 年 2 月環境庁告示第 16 号により、要監視項目から環境基準項目に追加された項目である。T21 と T45 が環境基準を超えていたことから、平成 12 年度に実態把握のための水質調査及び原因究明調査を行ったところ、熊本平野西部地域の広範囲で検出され、腐植物を含む地層から地下水へ溶出したものと推定された²⁾。

(3) ふっ素

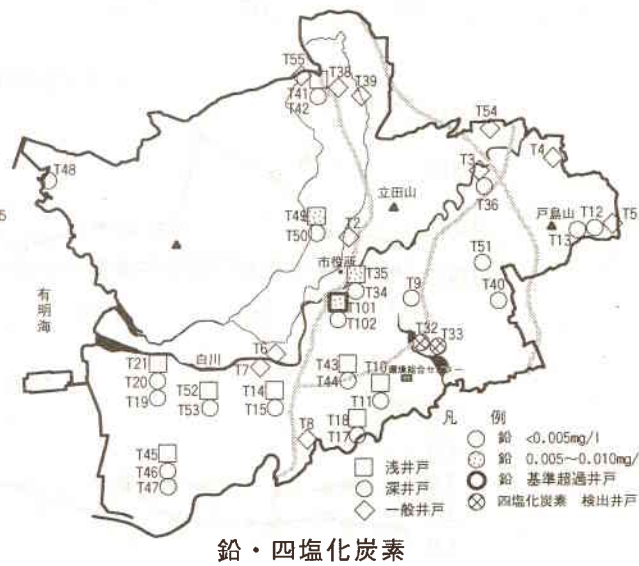
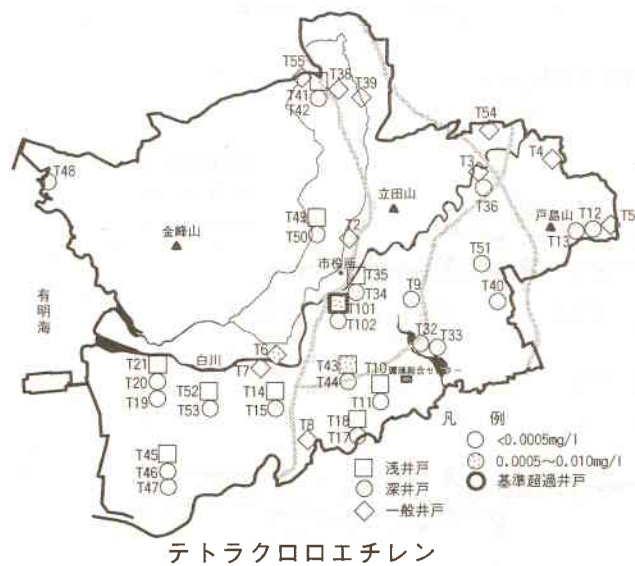
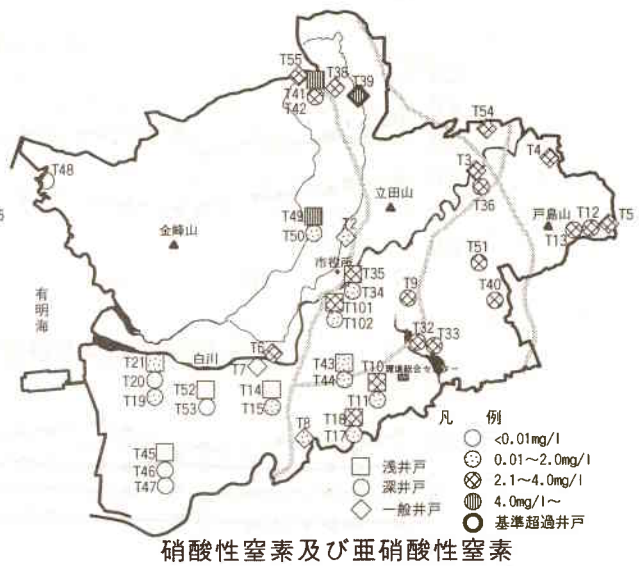
ふっ素は、37 本で報告下限値の 0.08 mg / l を超えて検出され、ほう素と同様に中島地区浅井戸 (T21) と天明地区浅井戸 (T45) で、環境基準 (0.8 mg / l) を超えており (図 2)、平均値はそれぞれ 3.3 mg / l と 1.4 mg / l であった。また、天明地区中井戸 (T46) と春竹地区浅井戸 (T101) でも一時的に環境基準を超えていた。また、中心部の白川沿いから西部地域にかけて 0.3 mg / l 、東部から南部にかける地域では 0.1 mg / l 程度検出された。

濃度の経年変化は、図 3 に示したように T21 ではやや増加傾向が、一方、T45 では減少傾向が見られた。

ふっ素も、ほう素と同様に平成 11 年 2 月に要監視項目から環境基準項目に追加されたことから、ほう素と併せて原因究明調査を行った。その結果、西部地域には、白川の沖積作用による河成三角州堆積物が広く分布しており、この地層に含まれているふっ素が地下水に溶出したものと推定された²⁾。

また、東部から南部にかける地域で検出された 0.1 mg / l 前後のふっ素は、阿蘇カルデラに起因するふっ素を含む白川の河川水が、台地で灌漑用水として用いられていることに起因するものと思われる。

なお、北部地域の地下水からは、ふっ素は検出されなかった。この地域の地下水は、植木台地から流入しており、白川の影響を受けていないためと考えられる。



*濃度区分は、対象期間中の平均値を用いて行った。また、期間に1度でも環境基準を超過した井戸を基準超過井戸として表した。

図2 環境基準項目の検出状況

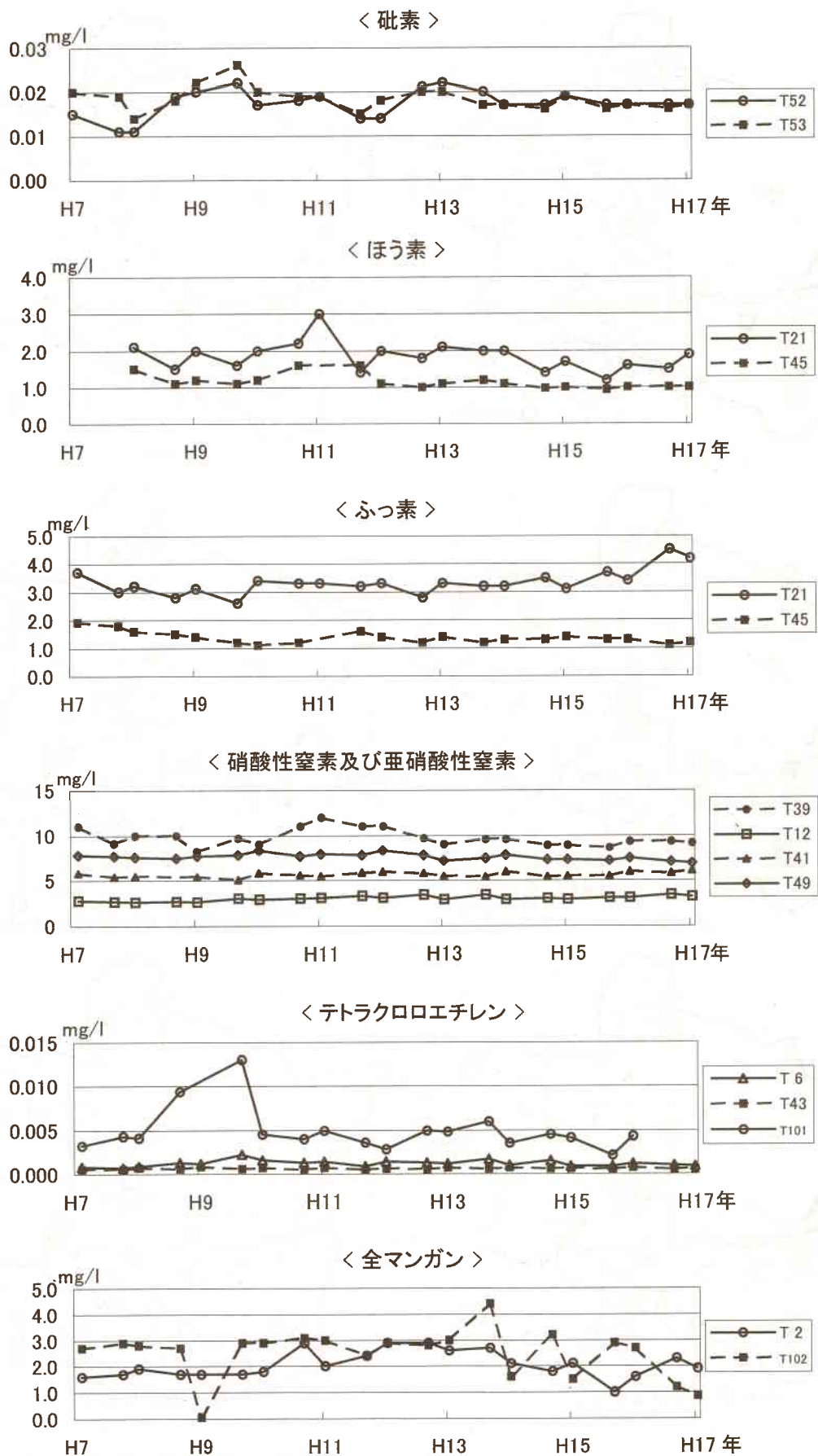


図3 環境基準項目及び要監視項目の濃度変化

(4) 硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素

硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素は、図2に示したように36本の井戸から検出された。西梶尾地区のT39では、図3に示すように環境基準(10 mg / l)を超えていた時期があり、平均値は9.7 mg / lであった。また、花園地区浅井戸(T49)は平均値で7.6 mg / l、北部地区浅井戸(T41)は5.7 mg / lと高濃度で検出された。これらの井戸の汚染濃度は、経年的には横ばい状態或いはやや減少傾向を示していた。

一方、中部から東部にかけての地域では2～4 mg / l検出されており、日向東地区(T-12)では横ばいなしやや増加傾向を示していた。

北部地域の硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素による地下水汚染は、平成11から13年度にかけて行った汚染機構解明調査の結果、施設園芸を中心とした農業施肥に起因すると推定されている。

(5) テトラクロロエチレン

テトラクロロエチレンは、3本の井戸から検出された。春竹地区浅井戸(T101)は、テトラクロロエチレンの汚染地区に設けられた観測井で、平成10年6月には0.013 mg / lと環境基準(0.01 mg / l)を超えていたが、最近では0.004 mg / l前後で推移していた(図3)。また、蓮台寺地区(T6)で0.0012 mg / l、笛田地区浅井戸(T43)で0.0006 mg / l前後で継続して検出されているが、近くには汚染源となるような事業場は見つかっていない。

(6) 鉛

鉛は、春竹地区浅井戸(T101)で平成10年6月に0.013 mg / l、同10月0.033 mg / l、平成12年6月に0.015 mg / lと基準(0.01 mg / l)を超えて検出されたが、それ以外の時は全て不検出(< 0.001 mg / l)だった。また、白川地区浅井戸(T35)と花園地区浅井戸(T49)においても平成7年10月にそれぞれ0.007 mg / lと0.005 mg / l検出されたが、その以外は全て不検出だった。検出状況から、地下水そのものが定常的に汚染されている可能性は低いと考えられる。なお、鉛については、観測井に用いた鋼管や揚水設備からの溶出も危惧される。

(7) 四塩化炭素

四塩化炭素は、江津地区No.1(T32)とNo.2(T33)で0.003 mg / l程度検出され(図2)、基準を超える井戸はなかった。なお、平成15年以降は報告下限値(0.0002 mg / l)以下となった。

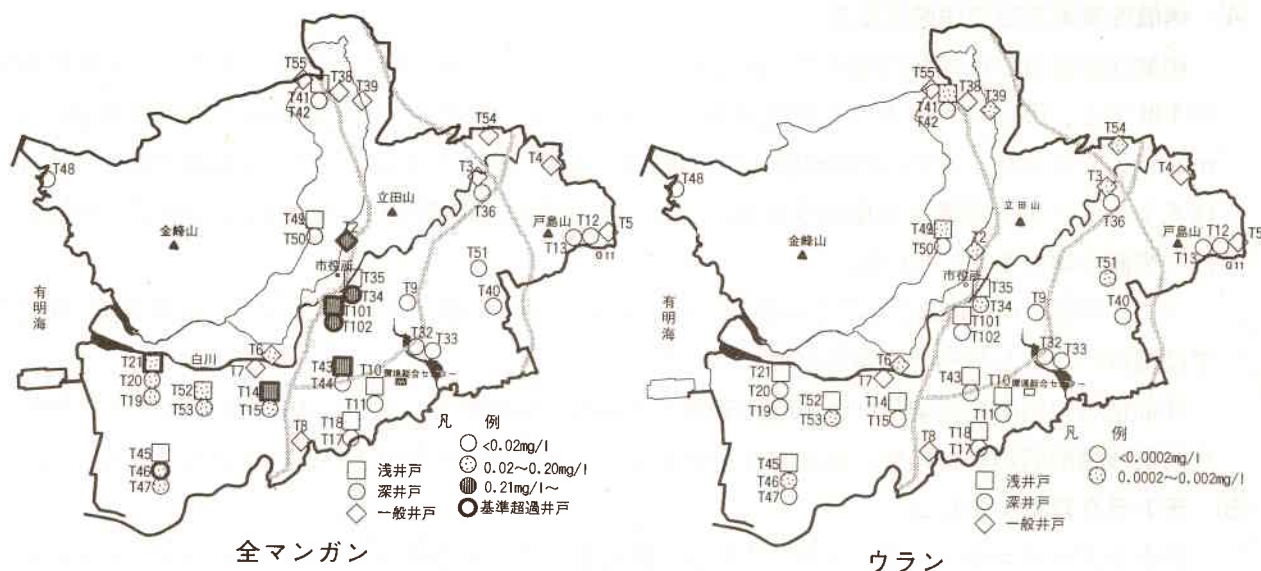
3.2 要監視項目

要監視項目では、平成16年3月に新たに追加された全マンガンとウランが検出されており、特に全マンガンは、市の中心部で指針値を超える井戸も見られた。他の25項目は全て報告下限値以下であった。

(1) 全マンガン

全マンガンは、平成7年度から測定しており、19本の井戸で報告下限値(0.02 mg / l)を超えて検出され、そのうち8本は指針値(0.2 mg / l)を超えていた。図4に示したように指針値を超えた井戸は中心部に見られ、春竹地区深井戸(T102)が平均値で2.5 mg / lと最も高く、そこから西部にかけての地域に検出井戸が分布していた。経年的には、測定値にバラツキのあるもののほぼ横ばい状態であった(図3)。

なお、全マンガンが指針値を超えた井戸は、硝酸イオンが検出されておらず、硫化水素臭がするなど還元的な状態になっていた。マンガンは、地層中に比較的多く含まれている金属であり、地下水が還元状態になることにより、地層中のマンガンが地下水に溶出したものと考えられる。



*濃度区分は、対象期間中の平均値を用いて行った。また、期間に1度でも環境基準を超過した井戸を基準超過井戸として表した。

図4 要監視項目の検出状況

(2) ウラン

ウランは、平成11年から調査を行っており、これまでに11本の井戸から報告下限値 (0.0002 mg/l) を超えて検出された (図4)。最高濃度は、白川地区深井戸 (T34) の 0.0010 mg/l で指針値を超えたものではなく、経年的にはほぼ横ばい状態であった。

ウランが検出された原因については、低濃度のウランが市内全域に点々と見られていることから、特定の汚染源ではなく、地層中に含まれるウランに起因すると思われる。

3.4 地下水主要成分

地下水に含まれるカルシウムイオンや重炭酸イオン等の無機成分については、既に平成7年10月の測定結果に基づいて、ヘキサダイアグラムの形状から6つのグループに区分されることを報告した³⁾。そこで、今回は、10年間の調査結果に基づいて、各イオン成分の濃度の経年変化について検討したところ、横ばい状態でほとんど変化の見られないものが多かったが、増加或いは減少傾向を示すものや、ばらつきの見られる井戸もあった。

(1) 安定型

図5に河内地区 (T48) 及び田迎地区深井戸 (T11) の平成7年と平成17年10月のヘキサダイアグラムを重ねて示したが、その形状や大きさはよく一致していた。このようにカルシウムイオンや重炭酸イオン等の各成分の濃度が、調査期間を通してほぼ一定しているものや多少ばらつきがあっても変化の少ない井戸は32本あり、地下水が長期間に亘って安定した水質を維持していること示していた (図6)。

飽田地区のT52とT53のイオン成分も、横ばい状態でほとんど変化が見られていなかった (図7)。これらの井戸からは、基準を超える砒素が検出されているが、その濃度も変化しておらず、この地域の地下水環境は、調査期間中ほぼ一定に保たれていたものと思われる。

(2) 減少型

坪井地区 (T2) は、塩化物イオンやカルシウムイオン、マグネシウムイオンの濃度が多少ばらつきはあるものの減少しており、一方、御幸地区深井戸 (T17) では、重炭酸イオン、硫酸イオンカルシウムイオン及びマグネシウムイオンの濃度が減少しており (図 7)、ヘキサダイアグラムの形状も変化していた (図 5)。特に、T2 については、ヘキサダイアグラムの形状が、Ca-HCO₃ 型から Na-HCO₃ 型へ変化していた。

このように、イオン成分の濃度が減少した井戸は、中心部及び西部地域に 8 本分布していた。

なお、ふっ素が基準を超えて検出された中島地区浅井戸 (T21) は、この型に分類され、

ふっ素は増加傾向を示していたが、他のイオン成分はふっ素と異なって減少傾向を示していた。

(3) 増加型

北部地区深井戸 (T42) は、塩化物イオン等全てのイオン濃度が増加しており、上南部地区 (T36) でもばらつきが見られるものの増加傾向を示す項目が多く (図 7)、ヘキサダイアグラムの大きさも平成 7 年度に比べると大きくなっていた (図 5)。北部地区浅井戸 (T41) 及び龍田地区 (T54) も増加型の井戸だった。

(4) 季節変動型

今まで述べてきた濃度変化とは別に、日向東地区の T12 は、水位の高い 10 月には各成分の濃度が大きく、水位が低い 6 月になると小さくなり、時期によって濃度変化しており、変動幅は硫酸イオンが最も大きくなっていた (図 7)。

このような季節変動は、東部地域の T4、T5、T13、T51 及び T54 でも見られた (図 6)。なお、T51 は、他の観測井と異なり、水位の高い 10 月には各成分の濃度が小さく、水位が低い 6 月になると大きくなっていた。

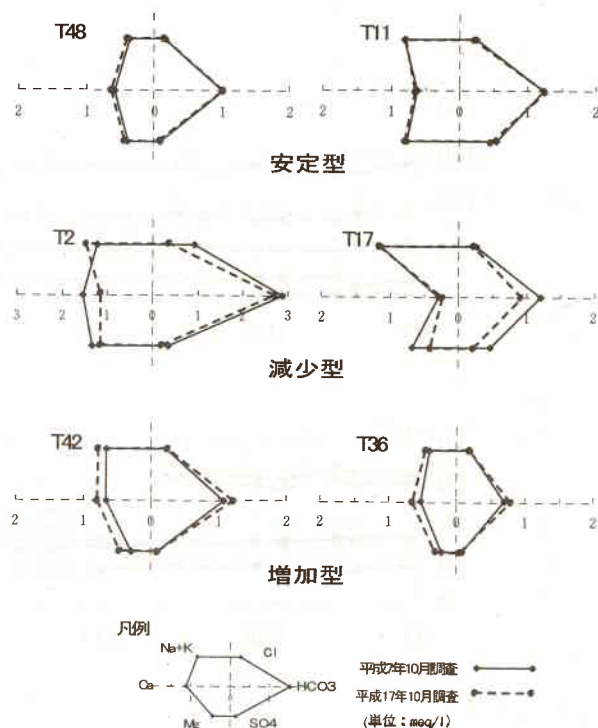


図 5 ヘキサダイアグラムの変化

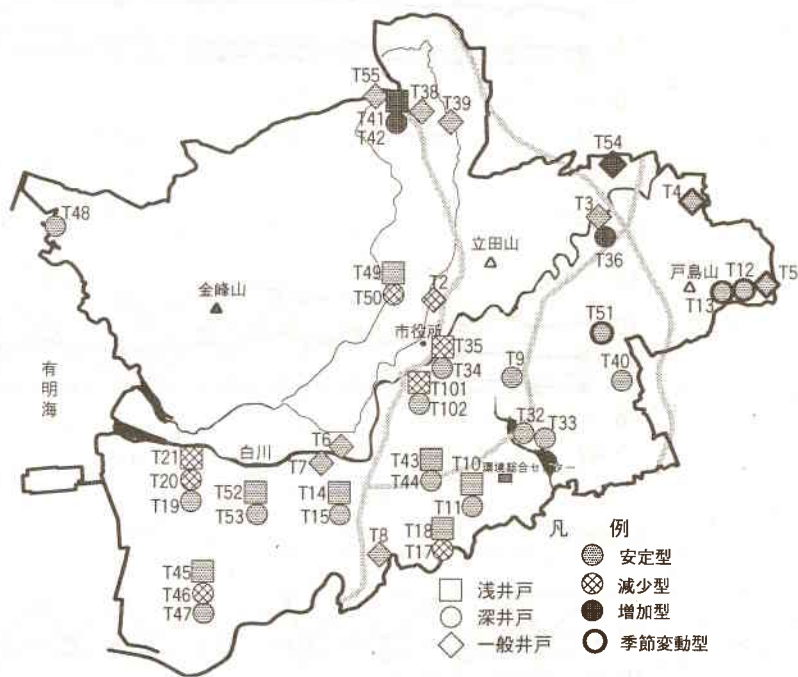


図 6 イオン成分の類型分布

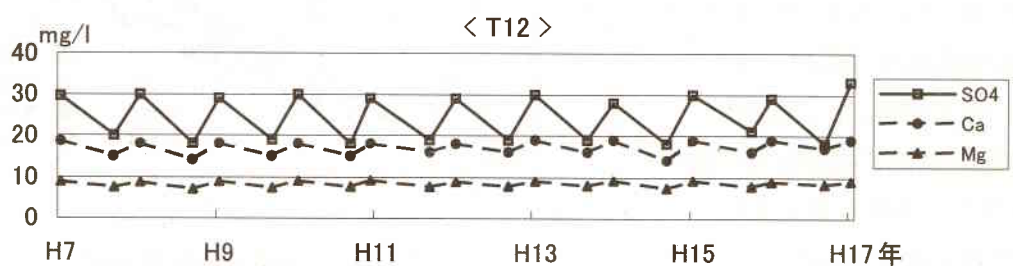
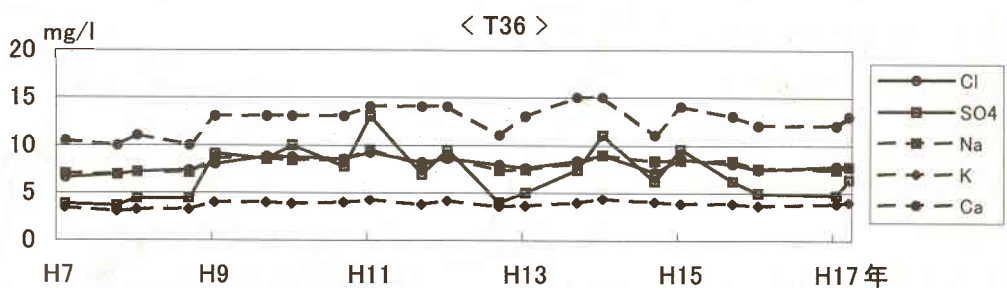
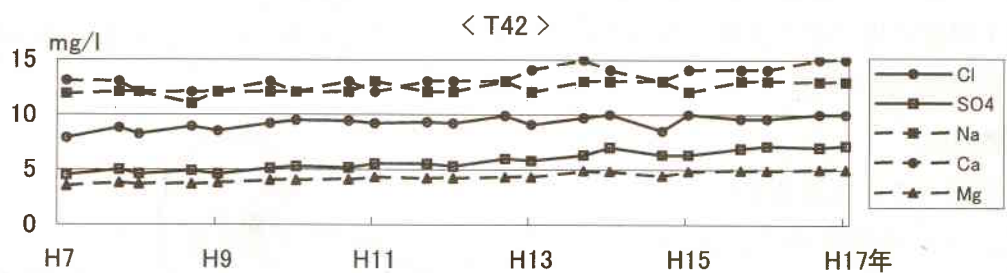
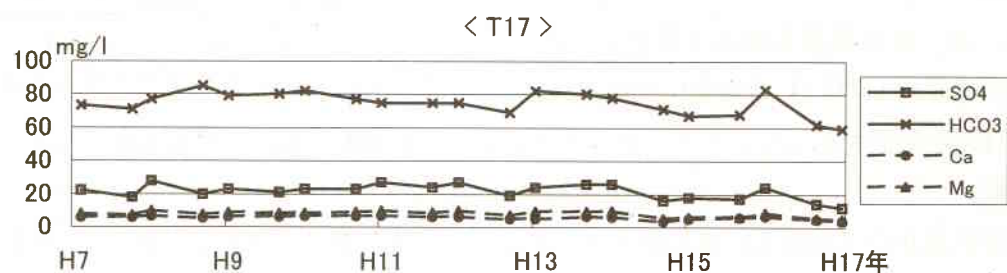
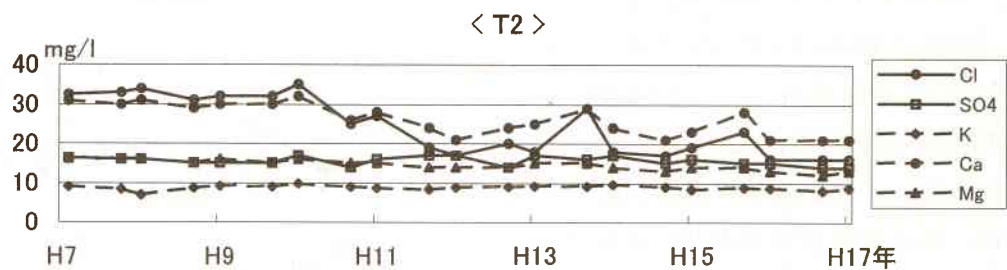
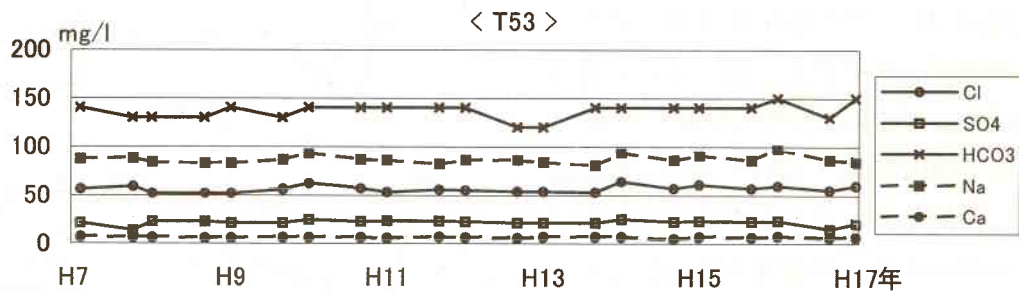


図7 イオン成分の経年変化

4. まとめ

この10年間の環境基準項目の調査結果を見ると、砒素、ほう素及びふっ素の3項目は、調査を開始した時点で既に環境基準を超えていた井戸があり、平成17年10月まで継続して基準を超過していた。一方、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素、テトラクロロエチレン及び鉛の3項目は、一時的に基準を超えて検出された井戸が見られたが、現在は基準以下に改善されていた。いずれかの項目が基準を超えていた井戸は、多い時には8本あったが、現在は4本となっている。

現在も環境基準を超えている項目は、いずれも土壌に含まれる砒素等が地下水へ溶出したもので、自然由来と推定されており、本市においては、現在対策が進められているテトラクロロエチレンや硝酸性窒素等の局所的な汚染はあるものの、全市にわたる化学物質による人為的な地下水汚染は見られず、地下水は良好な状態を保っていると思われる。

一方、地下水の主要成分であるカルシウムイオンや重炭酸イオン等も、ほとんどの地点で大きな変化は見られず安定した水質を示していた。しかし、一部の井戸では、イオン濃度の減少や増加が見られ、また、調査毎に測定値がばらついている地点も見られた。今のところ、こうした変動の原因はわかっていないが、都市化の進展や減反による水田の減少など地下水を取り巻く環境の変化が、循環する地下水量の減少をもたらし、地下水質に影響を及ぼしていることも考えられる。

今回の調査結果から、イオン成分の濃度変化が、砒素やふっ素、ほう素の検出に影響を及ぼしているとは考え難いが、今後も、イオン成分の濃度変化と地層に含まれている金属類の地下水への影響には注目する必要がある。

熊本の地下水の良好な水質を維持していくために、今後は、環境基準項目等に限らず熊本地域で使用されている農薬や化学物質についても定期的なモニタリング調査を行い、有害物質による地下水汚染の早期発見に努めるとともに、地下水位の低下や涵養事業等によってもたらされる地下水形成過程の変化に伴う水質の変化にも注目して地下水監視を行っていくことが重要となっている。

参考文献

- 1) 佐藤市子他：熊本地域における地下水からのひ素検出事例について，第18回環境保全・公害防止研究発表会講演要旨集，1991
- 2) 津留靖尚他：熊本平野西部地区の地下水中のフッ素、ホウ素及びヒ素の状況について，熊本市環境総合研究所報，8，33-41，2000.
- 3) 津留靖尚他：熊本市の地下水質について(1)，熊本市環境総合研究所報，3，34-42，1995.
- 4) 岩永貴代他：熊本市域における地下水監視体制について，九州衛生環境技術協議会，29，30-31，2003.