

球磨川河川水と八代平野の地下水の水質について

藤野 和徳*

About Water Quality of Kuma River Water and Groundwater in Yatsushiro Plain

Kazunori Fujino*

In Yatsushiro area, the groundwater has been used as agricultural, industrial and daily life water. The groundwater levels are rising recently. This is why the decrease of the population, the crop acreage of rice and rush, and the conserving water of the citizens and factories. In 2014, the removal of Arase dam has begun by the demand of the people to the local level. The circumstance of water resources in Yatsushiro area has changed apparently.

In this paper, water qualities of the Kuma River and the groundwater of Yatsushiro area are investigated. The items of water qualities are ion analysis, conductivity and total residue. First of all, characteristic features of the water qualities of the Kuma River and the groundwater in Yatsushiro area are cleared up, and the relationship of the Kuma River and the groundwater is studied. It was proved that the groundwater in Yatsushiro is what the Kuma River water infiltrated. The characteristic features of the groundwater are different between left and right side of the Kuma River. It is found that there is the area that the concentration of chloride ion is over 800mg/l.

キーワード：イオン分析，電気伝導度，地下水，塩化物イオン

Keywords：Ion analysis, Conductivity, Groundwater, chloride ion

1. はじめに

一級河川球磨川は八代平野に南東から流入し、まず扇状地を形成し、次に三角州を形成し、八代海へ流出している。この間、頭首工、堰が設置されている。頭首工で工業・農業・上天草・宇城地域の生活用水が取水され、堰は塩水の遡上を遮断している。また、頭首工、堰によって河川水位を上げることで球磨川河川水は帯水層に浸出し、地下水を生み出している。球磨川の最下端に位置する八代市は、農業・工業・生活用水、舟運など球磨川の恩恵を受け発展した町である。球磨川の平均流量は約 100m³/s で、各種用水の全量は直接取水によって利用されていると思われるが、八代市はこれまで水資源の大部分は地下水（伏流水）に頼ってきた。八代平野の大部分は干拓地であり、地下水の利用は干拓地では被圧地下水帯の深井戸から、山側の非干拓地では不圧地下水帯である浅井戸から揚水されている。八代市は、地下水が本市にとって重要な水資源であることから、市内 7 か所で地下水位を測定し、また、地下水状況を把握するため、現在市内 28 か所で月に 1 度塩化物イオン濃度などを測定し、地下水管理を行っている。

近年、八代平野の水環境は変化している。

球磨川に設置された発電用の荒瀬ダムの撤去が 2012 年に開始された。これに伴い球磨川の水質は影響を受ける可能性があり、水質特性を調査しておくことは意義あるものと思われる。また、荒瀬ダムの下流に位置する八代平野では、生活・農業・工業用水に球磨川の河川水や球磨川から地下へ流出した地下水が利用されており、近年、地下水位の上昇が見られ、八代平野の地下水の特性及び起源などを明らかにしておくことも意義あるものと思われる。

さらに、2014 年には水循環基本法が制定され、これは温暖化に伴う降雨の増減や大規模災害時においても、健全な水循環を維持し、安心・安全な水資源を確保することを目的としている。球磨川は近年、濁水は生じておらず、環境基準も達成されているが、上流への降雨による洪水、それに伴う八代平野の地下水の流動・水質の変化に注意を払っていく必要がある。

本研究は、まず、八代平野の水資源の現状を明らかにし、球磨川の河川水の水質特性を調査し、次に、地下水の水質特性を明らかにし、河川水と地下水の関係を検討するものである。

水質測定項目としては陰陽イオン分析が主である。陰陽イオンは、Thermo Fisher SCIENTIFIC 製の 2 台の DIONEX ICS-1100 で陰陽イオンを、HACH 社の CONDUCTIVITY/TDS METER で電気伝導度を測定している。

* 建築社会デザイン工学科
〒866-8501 熊本県八代市平山新町 2627
Dept. of Architecture and Civil Engineering,
2627 Hirayama-Shinmachi, Yatsushiro-shi, Kumamoto, 866-8501, Japan

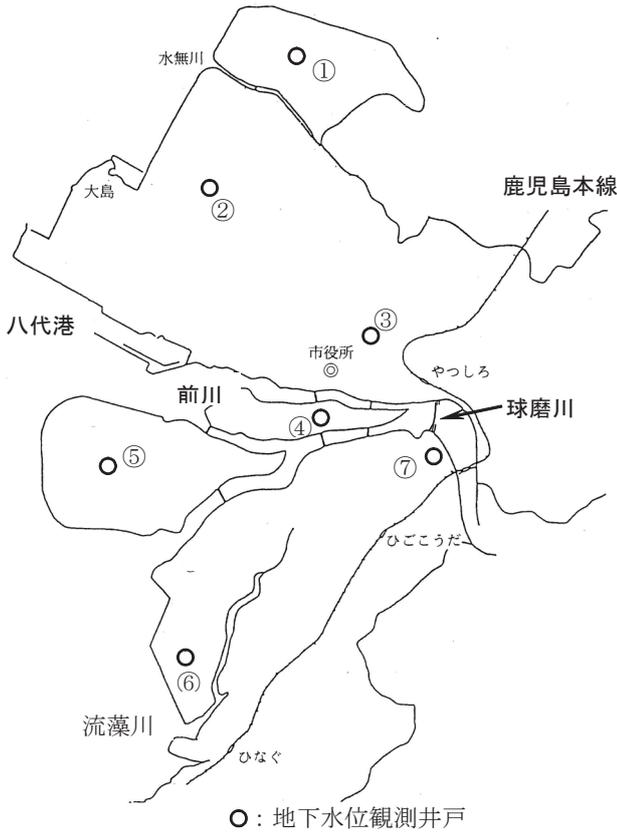


図1 地下水位観測井戸点

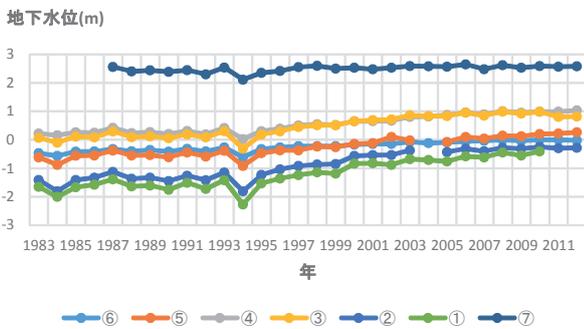


図2 地下水位の経年変化

2. 八代の水資源

1987, 1988年に八代市は全戸に対して地下水利用量の聞き取り調査⁽¹⁾を行なっている。その時点の地下水揚水量は総量として637000m³/日と報告されている。その後、八代市は地下水環境の動向を見るために地下水位の調査を行なってきた。地下水位観測井戸の位置を図1に示す。観測番号⑦以外は被圧地下水帯にある観測井戸で、その他は不圧地下水帯の井戸である。図2に1983年からの年平均地下水位⁽²⁾を示す。また、図3に地下水位②、③、④の1999年と2013年の1年間の地下水位の変動を示す。九州では6月から8

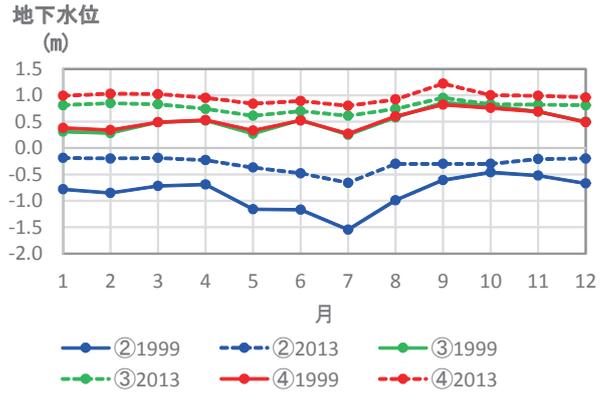


図3 地下水位の年間変動量

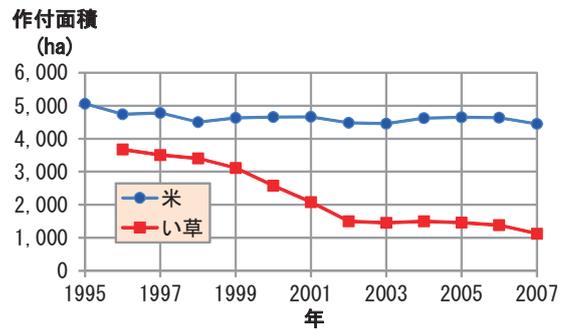


図4 米・イグサの作付面積の推移

月にかけて多くの雨が降るが、夏季に地下水位は低下している。これは農業用水として地下水が揚水されているため、また冬季にも幾分地下水位は低下している。これもイグサのための地下水の揚水によるものである。このような1年間の変動を毎年繰り返しているが、2000年頃より地下水位は上昇しており、図3を見ると6月から8月にかけて地下水位は減少するが、その減少度合いも小さくなっている。

地下水位の上昇は、球磨川の近くに設置された水源池から地下水を揚水し、塩素殺菌後、水を供給する上水道の設置や節水型の生活習慣、地下水使用量を減らす企業努力などによるものと思われる。図4は八代平野の米とイグサの作付面積の推移である。米、イグサともに作付面積は減少しており、人口の減少と合わせて八代平野の地下水の揚水量は減少しているものと思われ、地下水位の上昇が見られるものである。

3. 球磨川の水質について

図5に河川水位の測定位置（前川，金剛，柳橋），地下水の塩化物イオン濃度の測定を行なう井戸位置，上水道のための水源位置および河川水と地下水の濃度を比較するため河川水と地下水の採水位置（A，B）を示す。

3.1 球磨川河川水のイオン分析結果

図6に2015年7月の1ヶ月間の陰陽イオン分析結果を示す。また、表1に全国および九州の河川の水質⁽³⁾の平均濃

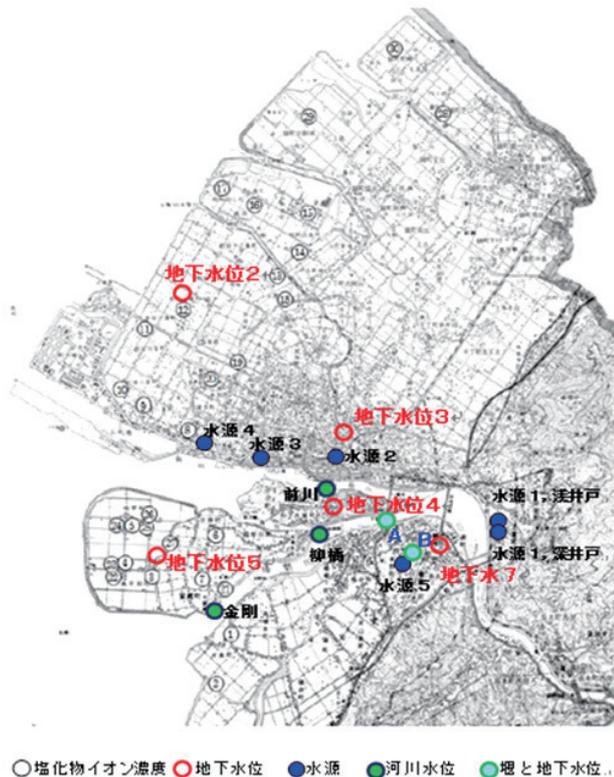


図5 河川水位・地下水のイオン濃度・水源の位置

表1 河川の水質(濃度 mg/l)

	Ca	Mg	Na	K	SO4	Cl	NO3	NH4	蒸発残留物
全国	8.8	1.9	6.7	1.19	10.6	5.8	0.26	0.05	74.8
九州	10.0	2.7	8.6	1.84	13.1	4.6	0.20	0.04	106.0
球磨川	7.8	1.2	2.6	0.68	4.5	2.4	1.18	0.06	108.1
地下水	9.1	2.0	3.8	0.89	6.5	3.3	1.40	0.00	-

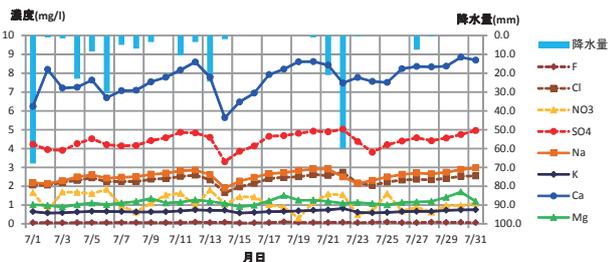


図6 河川水のイオン分析結果

度を示す。球磨川において高い陰イオン濃度は硫酸イオンで、次いで塩素イオン濃度である。これら濃度はいずれも全国、九州の河川の平均濃度に比べると低い値を示している。陽イオン濃度についてはカルシウムイオン濃度が最も高く、次いでナトリウムイオンとなっている。河川水中のイオン濃度は地中を通ってきた地下水が河川に流出したものもあり、カルシウムを含む地中を通ってきた地下水の影響が大きいものと思われる。球磨川中流域の熊本県球磨村には石灰岩が侵食されてできた鍾乳洞(球泉洞)があることや、八代城の石垣には石灰岩を含む石が使われており、カルシウム成分が多いことが頷ける。図6には八代の降水

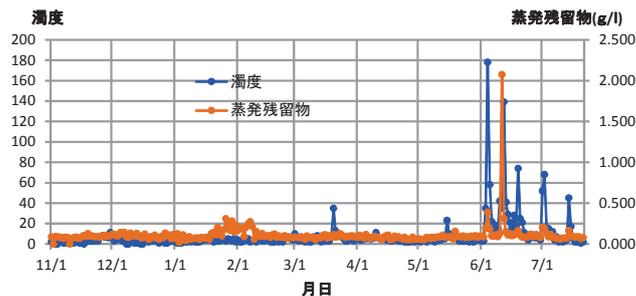


図7 濁度と蒸発残留物

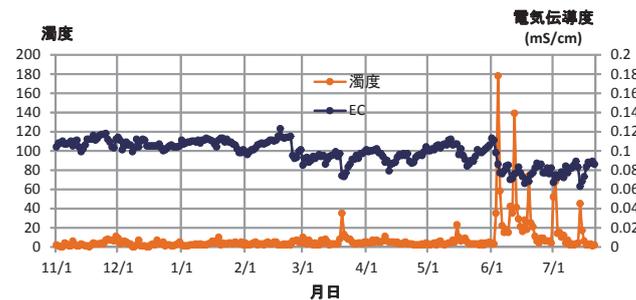


図8 濁度と電気伝導度

量をも併記しているが、降水があればイオン濃度は低下している。これは無機物質が河川水中に流れ込み濃度を下げているためである。イオン濃度については問題のない濃度となっている。

3.2 蒸発残留物

2014年11月1日から2015年7月20日までの濁度と蒸発残留物の関係を、濁度と電気伝導度の関係を、それぞれ図7、図8に示す。当然ことながら、濁度が上がれば蒸発残留物も上がり、逆に電気伝導度は低くなっている。河川中を流れる土砂は掃流砂、浮遊砂とウォッシュロードに区分され、その中のウォッシュロードは粒径の細かいもので河床に落ちることなく河口まで水中を漂うものである。ウォッシュロードは、式(1)に示されるような値⁽⁴⁾をとる。

$$Q_s = (4 \times 10^{-8} \sim 6 \times 10^{-6}) Q^2 [m^3/s] \quad (1)$$

ここに、 Q : 河川流量 [m^3/s] である。

測定期間中の蒸発残留物量は 0.108g/l であった。平均河川流量を 100 m^3/s とすると、ウォッシュロードを算定すると、1日に約 350 m^3 /日のウォッシュロードが八代海に流出していることとなり、一部は干潟を形成することとなる。この量は、荒瀬ダムの撤去前は、ダムに堆積していたものが撤去後は下流に流出することとなり、多くなっていることが考えられる。

3.3 球磨川河川水と八代市の上水道水源の

イオン分析の比較

八代の生活用水は海岸近くでは、井戸から汲み上げる地



図9 水源と球磨川のイオン分析結果

下水に塩化物イオンが含まれていることから、八代市は球磨川の近くに5つの水源を設け、これらの水源で地下水（伏流水）を揚水し、塩素殺菌して各戸に供給している。海岸から距離のある居住者は地下水を汲み上げ、生活用水としている。2015年2月10日に5箇所の水源と球磨川の河川水を採水し、イオン分析を行なった。その結果を図9に示す。図を見ると、濃度について多少の差異はあるが、含まれているイオン濃度は球磨川河川水の濃度とほぼ同程度の値を示している。濃度から球磨川の河川水が流出したものと思われる。

3.4 球磨川河川水と地下水のイオン分析の変化

図10に球磨川堰の直上（A点）で採水した河川水と図5に示す井戸（B点）の地下水のイオン分析結果を示す。採水期間は7月23日から8月3日で、イオン毎に濃度を示しており、濃い色の前部は河川水、薄い色の後部は地下水である。硝酸イオンを除き、河川水中のイオン濃度には変動が見られるが、地下水中のイオン濃度はほぼ一定の濃度

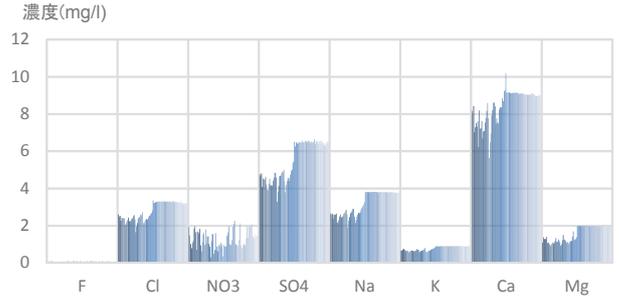


図10 河川と地下水のイオン分析結果

を示している。硝酸イオン以外は土壌からわずかであるが、地下水中にイオンが流れ出していると思われる。硝酸イオンは土壌に保持されることなく水中に存在すると思われる。

4. 八代平野の地下水の水質

4.1 市内28箇所のイオン分析

表2は2015年8月17日に採水した地下水のイオン分析結果である。塩化物イオン濃度100mg/lを越える井戸が8箇所あり、表2よりこれらの井戸の特徴的なことは臭素イオンを含んでいることである。臭素イオンは海水に含まれているが、球磨川河川水には含まれておらず、また、8箇所の井戸以外は臭素イオンを含んでいない。したがって、8箇所の井戸は海水の影響を受けていることとなる。塩化物イオン濃度と臭素イオン濃度の比は一般的に0.3%前後で、8箇所の塩化物イオン濃度と臭素イオン濃度比は0.26%から

表2 地下水のイオン分析結果（濃度 mg/l）

8月17日	Cl	NO2	Br	NO3	PO4	SO4	LI	Na	NH4	K	Ca	Mg
1	3.9742			1.5732		7.2165		4.7276		1.1691	8.3167	2.8012
2	3.3300			1.6362		7.2770		3.8828		1.1342	8.8616	2.8905
3	5.1611			1.6846		7.0041		6.4321		1.9104	2.9270	4.9111
4	0.0890	11.0230		1.2886		7.4191		17.6180		1.8978	0.7877	1.5048
5	0.1138	14.9326		1.4887		8.2702		12.7277		2.2951	2.2053	4.4086
6	3.8470			1.7183		6.8419		4.0682		1.2037	8.0892	3.2322
7	7.9990			1.0463		7.3830		9.5639		1.5809	4.8441	3.0206
8	計測なし											
9	0.1375	97.1972		0.7229		18.3007		62.5540		1.0549	0.2340	0.2848
10	0.1390	126.8812		0.4277		23.2975		75.7642		0.5003	0.4959	0.4878
11	0.1056	676.3566		1.6496		59.5375		221.5715		2.4931	13.0473	6.7234
12	0.2093	94.6539		0.6733		32.0845		66.0204		0.5948	0.8334	0.3836
13	1.0814	76.4723				6.1754	10.1981	46.7708		1.3980	2.2163	0.8829
14	0.6577	87.6670				2.5864	8.8225	50.5760		1.7055	3.0143	1.2755
15	計測なし											
16	0.4837	110.7256				2.1404	9.4371	56.2764		2.7042	6.4339	2.3079
17	0.2106	942.9751	0.4662	2.2236		74.8322		206.5595	0.0870	8.7383	74.4117	28.7538
18	0.1134	743.9666		1.9607		89.4036		206.6699		17.0707	10.1408	35.5042
19		4.8856			3.0554	10.9602		5.2880		6.2493	4.5989	9.3111
20		145.1972		0.4147	2.0918	35.0503		61.8664		10.8819	4.9592	9.2298
21	0.1045	18.7303		1.5244	9.1725	9.5244		9.6516		1.5290	8.5479	3.9083
22	0.1085	25.1207		1.1308		9.5041		25.7807		2.4595	0.8435	1.5636
23	0.0830	8.3987		1.0851		7.1314		6.5506		2.3053	2.9600	5.5673
24	0.0893	28.0654		1.0263		10.8645		15.6527		3.0679	3.2492	6.5359
25		11.2345		0.7888		7.0692		10.7221		2.0218	2.3294	4.3869
26		11.9665		0.8626		8.0272		8.8002		2.4029	2.8027	5.6580
27		6.0102		1.1755		7.0875		6.0059		1.6126	4.8070	4.4572
28	0.1624	10.9990				8.4203		12.3527		1.8122	6.6642	2.2498
29	0.2013	211.0875		0.4658		10.6693		46.4124		4.6090	35.0805	11.9095
30	0.2102	186.8912		0.6550		2.3375		28.6112		3.8644	34.5197	13.4097

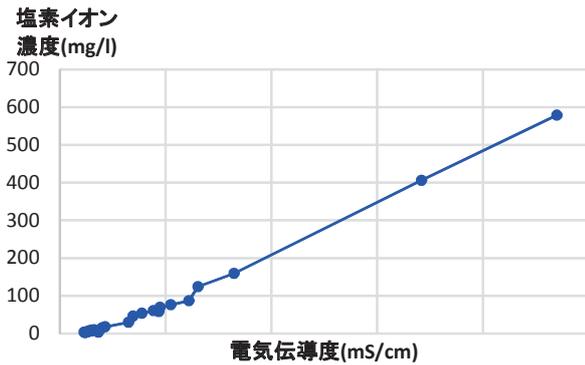


図 1 1 塩化物イオン濃度と電気伝導度の関係

0.35%の範囲である。塩化物イオン濃度が高く、臭素イオン濃度も高い井戸は海水の影響を強く受けていることとなる。

図 1 1 に塩化物イオン濃度と電気伝導度の関係を示す。塩化物イオン濃度と電気伝導率は比例関係にある。観測点によって、リン酸イオン、アンモニウムイオンが検出されている。

4.2 クラスタ分析

28 箇所の地下水について、クラスタ分析を行った結果、4 分類（分類 1：緑、分類 2：黄、分類 3：茶、分類 4：赤）され、それを色分けしたものが図 12 である。分類 1 の緑色の井戸は海岸近くに位置するが、塩化物イオン濃度は高くなく、臭素は含まれておらず、比較的球磨川の水質に近いものとなっている。分類 2～4 の井戸は臭素が含まれており、いずれも海水の浸入の影響がある。分類 2 の黄色は塩化物イオン濃度は 100mg/l 程度であり、分類 3 の茶色は 200mg/l、分類 4 の赤色は 800mg/l と水道水の水質基準を超え飲料水には適さない濃度となっている。海水には前述のように硫酸イオン、ナトリウム、カルシウム、マグネシウムイオンが溶けているため、分類 3、4 は高濃度で含まれている。なお、前述のように 5 か所水源池は臭素イオンは含まれておらず、また、塩化物イオン濃度も低い値を示していることから、水源池 5 より山側では海水の影響はほとんど無いと考えられる。

4.3 地下水位と潮位の関係

図 1 3 に 2014 年 4 月 1 日、01:00～4 月 3 日、00:00 の河川水位、地下水位および潮位^{(5)~(7)}の時間的変化を示す。河川水位（金剛、柳橋、前川）および地下水位の観測位置は図 5 に示している。地下水位および河川水位の変化量はいずれも潮位より小さくなっている。この節での変化量は図 1 3 に示す各水位の最高水位と最低水位の差と定義する。なお、潮位は標高 (T.P.) 換算していない。

地下水について 4 箇所平均地下水位は地下水位 2、5、3、4 の順に高くなっている。また、変化量は地下水位 3、4、2、5 の順に大きくなっている。

潮位と潮位より高い内陸部の地下水位の間の地下水位は一般的に、海からの距離が増すに従い地下水位は上昇し、

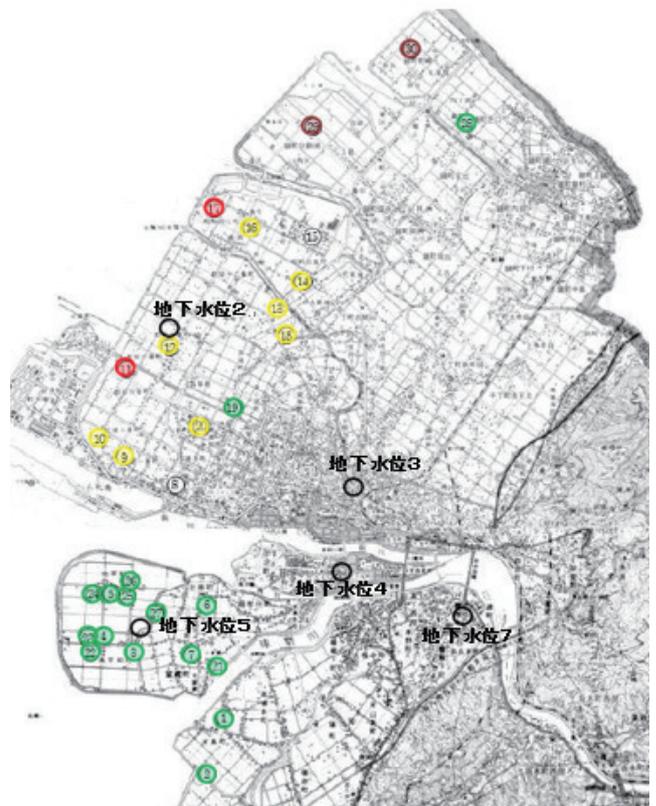


図 1 2 地下水イオン分析結果のクラスタ分析

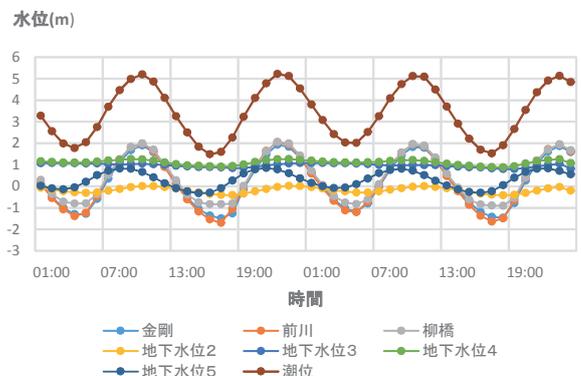


図 1 3 地下水位と潮位

変化量は小さくなる。

図 1 3 において海からの距離が増すに従い地下水位は上昇しているが、変化量について、地下水位 5 は地下水位 2、3、4 と比べると大きくなっている。

このことは地下水が流動している帯水層に違いがあり、球磨川左岸に位置する地下水位 5 は河川水位の変動の影響を受け、地下水位 4 を含む球磨川の右岸の地下水位は潮位の影響を主に受けていると推察される。この点を明確にするにはさらにボーリング調査などが必要と思われる。

5. むすび

本研究は、球磨川、八代平野の地下水について、水位および陰陽イオン分析、電気伝導率、蒸発残留物を計測し、球磨川と地下水の関係について検討したものである。

八代平野の地下水は球磨川の河川水が浸透したものであることがわかった。また、海岸地域では塩水の影響を受けていることがわかった。球磨川の右岸と左岸では水質特性が異なっていることがイオン分析より明らかになった。

なお、地下水位は上昇しており、地下水の塩水化領域は減少し始めているが、まだ塩化物イオン濃度の高い地域もあり、今後も地下水質・地下水位を観測を続ける必要があると思われる。

以下、得られた結果をまとめ結びとする。

- (1) 球磨川の河川水と水源の地下水(伏流水)およびB点(図5参照)の地下水の含有イオン濃度はほぼ同じである。河川水が地下水を形成している。
- (2) 球磨川の水質について、降水によってイオン濃度・電気伝導度は低下し、濁度は上がる。
- (3) 球磨川の蒸発残留物は平均0.108g/lであった。
- (4) 球磨川右岸の海岸近くの地下水には塩水が侵入している。
- (5) 塩水浸入地域の地下水には臭素イオンが検出される。
- (6) 球磨川左岸の地域では、塩化物イオン濃度は小さく、海水の影響は受けていない。
- (7) 地下水のイオン分析結果でクラスター分析を行うと、4つに分類された。
- (8) 陰イオン、陽イオンともに地下水より、球磨川河川水の濃度のほうが小さい。
- (9) 地下水中の硝酸イオンは変動している。これは、硝酸イオンは土壤に吸着されないことを意味している。
- (10) 球磨川の陽イオンについては、カルシウムイオンの含有量が最も大きい。

(平成27年9月25日受付)

(平成27年11月25日受理)

参考文献

- (1) 八代市の環境(第44報), 第8章 地下水, 八代市市民環境部環境課. pp.126~149, 2015.
- (2) 水の分析, 日本分析化学会北海道支部編, pp8, 1966.
- (3) 建設省河川砂防技術基準 調査編, 建設省河川局監修, 社団法人日本河川協会編, 山海堂, 1977年.
- (4) 八代市井戸水実態調査報告書, 八代市視聴公室企画課, 1979年8月.
- (5) 八代市市民環境部環境課計測地下水位.
- (6) 八代港検潮所, 2014年4月の潮汐月表, 2015年11月.
- (7) 国土交通省, 水文水質データベース, 球磨川の金剛, 前川, 柳橋水位データ, <http://www1.river.go.jp/>, 2015年11月.