

# 低平地における 地下水の化学組成と 年代に関する研究

田端正明 | 佐賀大学理工学部 教授

吉田政敏 | 佐賀県環境センター 環境理学科主査

松本幸子 | 佐賀大学理工学部

## 1. まえがき

筑後川右岸に広がる九州最大の沖積平野である佐賀・白石平野は日本有数の米の産地として知られている。この平野は、筑後川をはじめとして嘉瀬川、六角川などの河川のデルタの複合体として形成されたものであり、江戸時代以来の干拓地が広く発達している。またこの平野部は農業で高度の生産性をもち、かつ他種産業も多く住人の社会生活の基盤になっている地域であるため、古くから地下水利用・開発が盛んである。そのため、軟弱地盤の分布地であることと有明海に近い平野であることから、白石平野をはじめとして過剰揚水による地盤沈下<sup>1-3)</sup>や地下水の塩水化<sup>4)</sup>が発生している。

また、地下水は年間を通じて水温があまり変わらず、含有物が比較的少なく、長期的には地下水位の変動が見られることもあるが河川水に比べれば水量が一定しているなどの利点がある。その反面、いったん汚染を受けると流れが遅く、拡散、希釈の効果が期待できないので、汚染状態が長期に

わたって継続されやすい。

現在まで佐賀県の地下水の化学組成については飯盛教授ら<sup>1-4)</sup>を中心にして盛んに研究されてきたが地下水の年代については研究が皆無である。地下水の年代が分かると、地下水の化学組成とあわせて検討することによって地下水の塩水化の様子を時間的に捉えることができる。更に、もし汚染されるとその影響はいつ頃あらわれ何年続くかを予想することもできる。

本研究では、佐賀・白石平野の地下水のトリチウム濃度測定による地下水の年代と化学組成から低平地の地下水の水質と塩水化について検討したので報告する。

## 2. 地下水の水質調査

### 2.1 調査の方法

平成6年から平成7年にかけて佐賀地区、白石地区の家庭用井戸および灌漑井戸から採水して化学分析を行った。地下水は井戸の深さの違い（深度20~30mから300m）と有明海に近い地域とそうでない内陸部を考慮して採水した。地域別に見ると佐賀地区

表1 試料採水地点とストレーナの深度 (m)

佐賀地区

サンプルNo.	採水日	採水場所	ストレーナ深度(m)		pH
⑥	94.12.05	佐賀市多布施川佐賀市水道局付近	0	地表水	7.8
G	95.11.21	佐賀市城内	23	浅井戸	8.0
J	95.11.21	大和町尼寺字二本松	26~30	浅井戸	7.3
F	95.11.21	佐賀市兵庫町藤の木	99~114	中井戸	7.9
⑤	94.12.05	佐賀市神園神野病院井戸	305~320	深井戸	8.1
E	95.11.21	佐賀市大財町	150.5~205	深井戸	7.8

白石地区

サンプルNo.	採水日	採水場所	ストレーナ深度(m)		pH
5	95.06.22	六角川	0	地表水	7.1
6	95.06.22	塩田川	0	地表水	7.2
11	95.11.17	有明町有明干拓	25	浅井戸	7.5
C	95.11.15	福富町福富	30	浅井戸	7.8
①	94.12.05	有明町干拓地区簡易水道浄水場	111~182	中井戸	8.0
②	94.12.05	白石町水道北明	98~209	中井戸	8.0
1	95.06.17	鹿島市森	45~56	中井戸	8.1
2	95.06.17	白石町大字福田	50	中井戸	7.9
8	95.11.14	大町町福母	90~151	中井戸	8.1
9	95.11.14	江北町下小田	55~70	中井戸	7.6
A	95.11.15	白石町福田郷一本松	80~100	中井戸	7.7
B	95.11.15	福富町福富	90~110	中井戸	7.5
D	95.11.17	有明町牛屋沖清	60	中井戸	7.7
③	94.12.05	福富町代行干拓	156~245	深井戸	8.4
7	95.11.14	大町町福母	212	深井戸	7.8
M	95.11.27	有明町新明	180~205	深井戸	7.7

佐賀市周辺 (内陸部)

サンプルNo.	採水日	採水場所	ストレーナ深度(m)		pH
4	95.06.30	祇園川	0	地表水	7.2
3	95.06.18	小城町二瀬川	6~33	浅井戸	7.4
I	95.11.21	神埼町鶴	30	浅井戸	6.9
10	95.11.14	牛津町勝	110~116.5	中井戸	7.3
H	95.11.21	神埼町田道ヶ里	104~160	中井戸	7.9
K	95.11.23	神埼町尾崎	150~180	深井戸	7.4

佐賀市周辺 (有明海沿岸)

サンプルNo.	採水日	採水場所	ストレーナ深度(m)		pH
④	94.12.05	川副町犬井道	301~306	深井戸	8.4
L	95.11.23	川副町南	180	深井戸	7.9

が6箇所、白石地区が16箇所、佐賀市周辺内陸部が6箇所、佐賀市周辺有明海沿岸部が2箇所である。深度別では地表水が4箇所、浅井戸(深度20-30m)が6箇所、中井戸(深度約00m)が12箇所、深井戸(深

度約200m)が8箇所である。表1に採水地点と井戸の深さをまとめて示す。

## 2. 2 分析方法

ナトリウムイオン( $\text{Na}^+$ ), カリウムイオン( $\text{K}^+$ ), カルシウムイオン( $\text{Ca}^{2+}$ ), マグネシウムイオン( $\text{Mg}^{2+}$ )を日立Z-6100形偏光ゼーマン原子吸光分光光度計を用いて測定した。

アルカリ度( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ )は試料をメチルレッド-プロモクレゾールグリーン混合指示薬(BCG)およびフェノールフタレインを指示薬として0.01M硫酸で滴定して

求めた。

塩化物イオン( $\text{Cl}^-$ ), 硫酸イオン( $\text{SO}_4^{2-}$ )は島津イオンクロマトグラフHIC 6 Aに無機イオン用カラムShim-pack IC-A 1 Pをつけ $10^{-3}\text{M}$  *p*-ヒドロキシ安息香酸と $1.1 \times 10^{-3}\text{M}$  N, N-ジエチルエタノールアミン混合液を移動相として分離定量した。

表2に各採水地における化学成分の分析結果をまとめて示す。

表2 化学分析結果(番号や記号は表1の採水地を表す, イオンの濃度はppm)

陽イオン/ppm					陰イオン/ppm				
No.	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	No.	$\text{HCO}_3^-$	$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$
①	19.76	8.80	7.49	2.35	①	79.26	4.73	12.81	1.33
②	31.65	7.87	5.22	1.64	②	84.33	5.98	15.29	1.28
③	167.40	7.25	37.75	40.37	③	270.86	12.91	146.63	6.31
④	92.96	15.05	3.21	1.03	④	278.67	9.01	5.66	0.00
⑤	25.18	1.55	4.71	13.74	⑤	110.50	2.70	15.45	1.69
⑥	8.52	1.46	2.29	5.51	⑥	33.62	0.00	6.77	3.32
1	78.39	14.44	48.20	55.74	1	126.72	7.81	268.20	32.06
2	75.26	15.53	11.20	12.13	2	182.57	0.00	52.74	3.74
3	12.70	2.35	7.34	18.25	3	88.90	0.00	8.64	8.09
4	8.83	2.62	2.03	7.36	4	62.48	0.00	6.04	4.35
5	863.80	70.35	177.50	72.60	5	67.85	0.00	1655.40	326.86
6	14.83	3.91	6.23	14.68	6	46.25	0.00	26.33	10.22
7	99.39	15.80	11.13	14.61	7	116.87	0.00	140.46	12.12
8	418.60	10.61	29.00	40.70	8	332.24	4.50	518.65	13.98
9	59.48	10.56	7.58	6.60	9	136.09	0.00	38.66	2.25
10	22.02	1.78	7.25	15.22	10	98.85	0.00	7.54	6.64
11	66.67	20.29	26.85	31.41	11	115.31	0.00	171.32	24.91
A	30.38	9.30	2.17	1.38	A	84.08	0.00	10.18	0.00
B	164.60	32.84	27.65	27.22	B	314.70	0.00	201.30	19.27
C	299.65	20.80	25.60	39.41	C	388.81	0.00	382.35	18.24
D	39.30	16.80	20.73	17.39	D	130.93	0.00	97.65	13.00
E	31.81	2.06	5.38	15.55	E	136.57	0.00	13.16	2.43
F	27.84	2.35	7.39	15.90	F	134.53	0.00	15.00	3.12
G	317.65	29.46	23.45	8.21	G	566.09	0.00	236.65	2.86
H	36.31	1.63	7.14	19.14	H	146.90	0.00	17.06	3.00
I	43.42	3.07	4.78	15.69	I	73.63	0.00	36.92	13.02
J	19.43	4.03	7.98	15.35	J	80.48	0.00	12.94	9.67
K	19.49	4.07	6.64	13.02	K	97.29	0.00	8.93	4.04
L	238.40	33.71	21.25	29.05	L	185.64	0.60	374.41	9.97
M	37.03	8.05	4.96	4.51	M	105.34	0.00	18.20	0.00

### 2.3 地下水の化学的特性の結果と考察

地下水の化学成分の分析は水を利用する立場からの水質調査が一般的であるが、地下水は流域の地質や自然環境をよく反映しているため、水の起源を知る上で有用なデータとなる。特に地盤沈下が起こっている佐賀平野は有明海からの地下水への流入が予想され、地下水の塩水化の様子を簡単に知ることができる。

#### 2.3.1 水質表示法（ヘキサダイアグラムとキーダイアグラム）

地下水の主要化学成分、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ についてヘキサダイアグラム（六成分水質図）とキーダイアグラム（水質型）を作製し、水質の比較、区分、関連性を検討した。ヘキサダイアグラムは図の形が水質型を、図の大きさが溶存成分を表しているため、水の比較、区分に便利である<sup>5)</sup>。キーダイアグラムは水質の化学成分比（水質型）を示し、同時に多数の試料の分析結果をプロットできるので、水質型の分類と相互作用の関連性

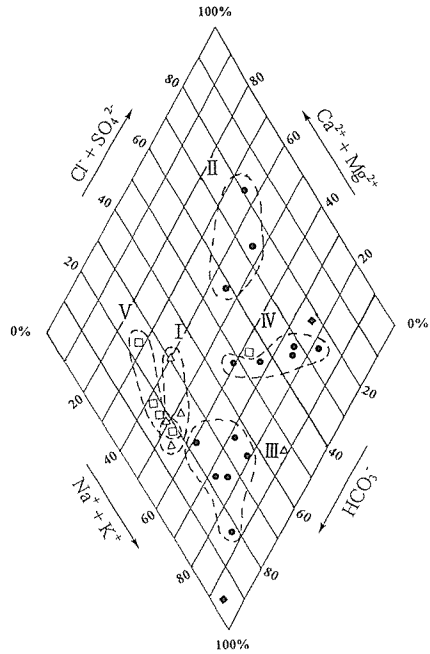


図1 地区別キーダイアグラム。△、佐賀地区；●、白石地区；□、佐賀市周辺(内陸部)；◆、佐賀市周辺(有明沿岸部)。I、佐賀市；II、塩田川流域；III、塩田川・六角川流域；IV、六角川流域；V、神埼郡、小城・牛津川流域

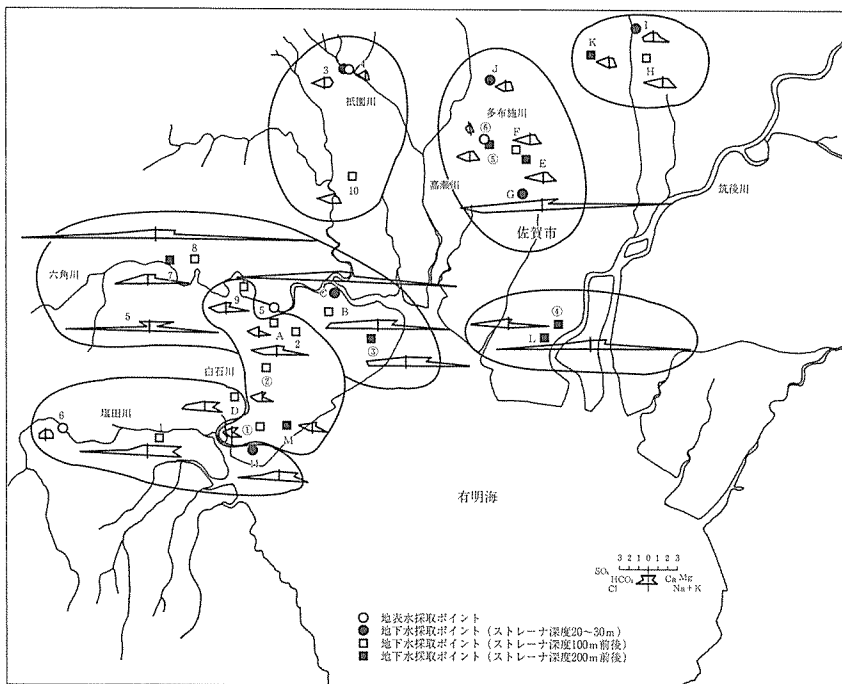


図2 採水地とヘキサダイアグラム

を把握できる<sup>5)</sup>。

図1にキーダイアグラムと図2にヘキサダイアグラムを示す。一般に、地下水は地層中を流動する間に①地表からの成分溶出、②酸化から還元環境への変化、③粘土鉱物とのイオン交換などによって、水質組成が系統的に変化していく。地下水の起源は雨水であり、ほぼ蒸留水に近い水質である。雨水が地層中に入ると、雨水に含まれる二酸化炭素の作用によって、(1)地層中の鉱物が最初に溶解され $Ca^{2+}$ と $Mg^{2+}$ 及び $HCO_3^-$ が主成分の水質になる。一旦、地層に入り、再流出した河川の上流域の源流水はほぼこの水質である。(2)この地下水が地層を流動する間に、地層から成分の溶出、有機物の分解によって次第に $Na^+$ と $K^+$ 及び $HCO_3^-$ が主成分の水質に変化していく。被圧地下水はこの段階のものが多い。(3)次の段階に進むと水中の $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ と地層中の粘土鉱物中の $Na^+$ との間でイオン交換が生じる。即ちキーダイアグラムでは地下水の深度とともに $Na^+$ 、 $K^+$ 、 $HCO_3^-$ が多くなり、図1では次第に下方の成分を示すようになる。他の金属イオンが地質以外から流入すると、 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ が

多くなる。佐賀・白石平野の地下水の水質は図1、2より地域的にはっきりした差異が見られ、次の5つのグループに分けられる。グループIは佐賀市、グループIIは白石地区塩田川流域、グループIIIは白石地区塩田川・六角川流域、グループIVは白石地区六角川流域、グループVは佐賀市周辺内陸部(神埼郡、小城・牛津川流域)である。自然の地下水の水質のを示すのが地域IとVである。白石地区塩田川流域(II)の浅井戸の $Na^+$ 、 $HCO_3^-$ の濃度は低く、浅井戸であるため海水の流入の可能性が考えられる。海水による地下水の塩水化はヘキサダイアグラムからも底辺が広がった形( $Na^++K^+$ と $Cl^-$ イオンの濃度が高い)より容易に知ることができる。佐賀市南部の川副、犬井道、六角川流域、塩田川流域の地下水で塩水化現象を知ることができる。

### 2.3.2 地下水の塩水化

キーダイアグラムやヘキサダイアグラムから地下水の塩水化を知ることができるが、地下水の深度と塩化物イオンの濃度のグラフ(図3)や地下水と海水との $Na^+/Cl^-$ や $Ca^{2+}/Cl^-$ の比より地下水の塩水化の情報をもっとはっきりと知ることができる。

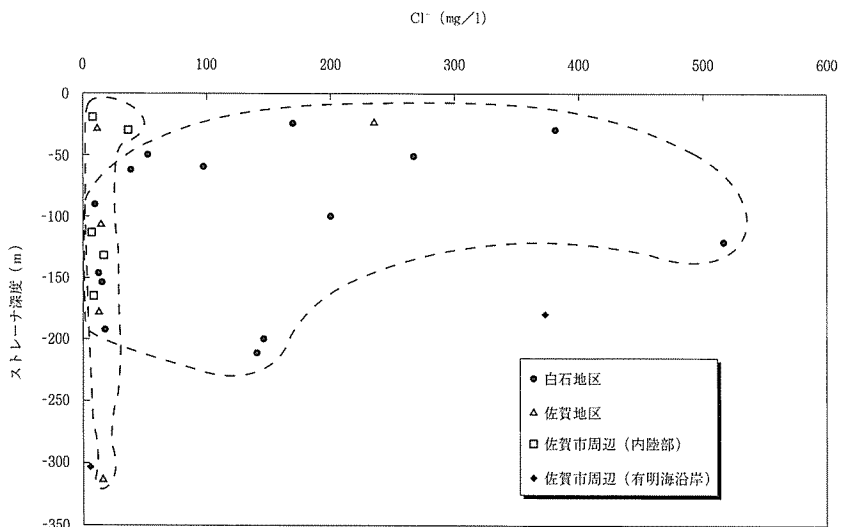


図3 スロレーナ深度と塩化物イオンの濃度分布

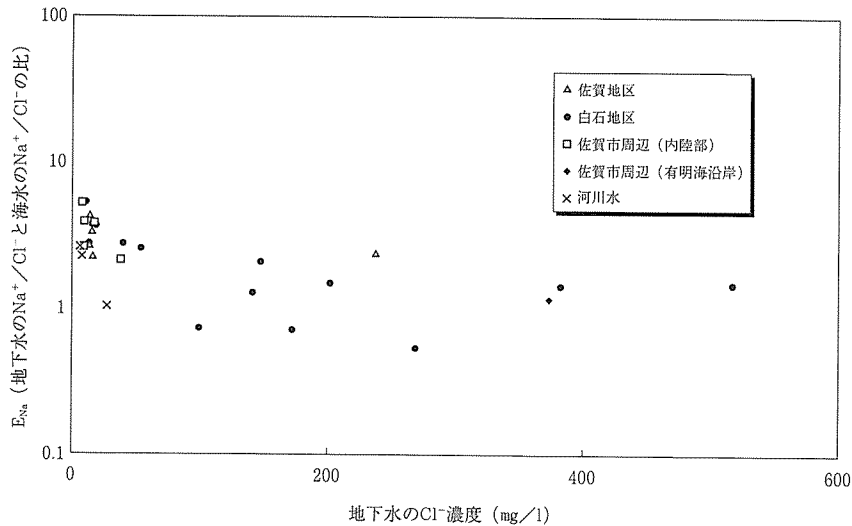


図4  $E_{Na}$ と地下水の塩化物イオン濃度との関係

図3より佐賀市周辺の内陸部は井戸が浅くても  $Cl^-$  の濃度は低い。しかし、白石地区では塩化物イオンの濃度が高く100mから200mの井戸で塩水化が見られる。海水の  $Na^+/Cl^-$  や  $Ca^{2+}/Cl^-$  と地下水のそれらの値との比 ( $E_{Ca}$ ,  $E_{Na}$ ) を地下水の  $Cl^-$  濃度に対してプロットすると図4のようになる。白石地区、佐賀市周辺(有明海沿岸)では  $E_{Ca}$ ,  $E_{Na}$  とも1に近く、塩化物の濃度が海水組成に近いことを示している。陽イオンの三成分 ( $Na^+ + K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ) の三角ダイヤグラムでも白石地区では  $Na^+ + K^+$  の濃度が他と比べて高い。

### 3. 地下水の年代

地下水の滞留時間(年代)や起源を直接調べるためにトリチウム( $^3H$ )の放射能測定よりトリチウム濃度を求め地下水の年代を決定した。トリチウムは半減期12.3年で弱い $\beta$ 線を出しながら崩壊する水素の同位体であり、天然には地球大気の上層で宇宙線によって生成される。大気中の酸素と結合してHTO(水)となり、通常の水分子とほぼ同様な物理化学的挙動をとることから、理想的な水のトレーサーと考

えられ、比較的新しい地下水の年代決定に大いに活用されている<sup>6)</sup>。

#### 3.1 実験<sup>7)</sup>

石英丸底フラスコに、過マンガン酸カリウムと過酸化ナトリウムをそれぞれ0.1グラムずつとり、それに試料水を100ml加え蒸留を行う。初留10mlは捨て、試料が乾固するまで蒸留し、さらに1時間蒸留を続けた。蒸留液40mlをテフロンバイアルにとり、アクアゾール(パッカード社製)を60ml加えた。バイアルを50°Cの湯に浸し、白濁溶液が半透明になるまで振騰した。約2週間冷蔵庫に放置後、液体シンチレーションカウンター(LSC-LB, アロカ社製)でトリチウムの濃度を測定した。液体シンチレーションカウンターの測定条件は測定20分、測定回数100回、バックグランド測定20分である。但し次のデータは計算から除外した。測定回数が1-5回までの初期データ、測定値が平均値 $\pm 2\sigma$ を超えるデータ。バックグランド水は秋田八幡の地下水で年代は50~70年前と推定されている。

#### 3.2 トリチウムの濃度計算と年代決定法

試料(s)及びバックグランド試料(b)

の測定時間  $t$  における計数率はそれぞれ

$$\bar{n}_s = \text{カウント数} / t_s \quad (1)$$

$$\bar{n}_b = \text{カウント数} / t_b \quad (2)$$

とする。正味の計数率  $n$  (cpm) 及びその標準偏差  $\sigma$  は

$$\bar{n} = \bar{n}_s - \bar{n}_b \quad (3)$$

$$\sigma = (\bar{n}_s / (k_s t_s) + \bar{n}_b / (k_b t_b))^{1/2} \quad (4)$$

正味の計数率が  $3\sigma$  以上ならば有意な計数としてトリチウム濃度を算出する。

試料の容積  $V$  ml, トリチウムの計数効率を  $E$  (%) とするとトリチウムの濃度  $Q$  ( $B_q/l$ ) トリチウムは次のように表される。

$$Q = \bar{n} \times 10^3 / (a \times 60 \times E \times 10^{-2} \times V) \quad (5)$$

ここで  $a$  は減衰補正值であり、

$$a = (1/2) Te / (T_{1/2} \times 365 \times 24) \quad (6)$$

とおらわされる。また  $Te$  は採水日から測定回数50回までの時間を表す。

同様にしてトリチウム濃度の計数誤差  $\Delta Q$  は標準偏差  $\sigma$  で表すと

$$\Delta Q = \sigma \times 10^3 / (a \times 60 \times E \times 10^{-2} \times V) \quad (7)$$

となる。よって、計数誤差を考えた時のトリチウムの濃度  $[Q]$  は

$$[Q] = Q \pm \Delta Q = (\bar{n} \pm \sigma) \times 10^3 / (a \times 60 \times E \times 10^{-2} \times V) \quad (8)$$

と表される。

$$\text{また、} Q = Q_0 (1/2)^{T/T_{1/2}} \quad (9)$$

$Q_0$  (河川水のトリチウムの濃度) と、 $Q$  (地下水のトリチウムの濃度) より、地下水の年代 (経過時間)  $T$  を決定した。 $T_{1/2}$  はトリチウムの半減期である。

### 3. 3 地下水の年代測定の結果と考察

表3に地下水のトリチウム濃度及び年代を示す。佐賀地区について見てみると、河川水 (多布施川, 試料⑥) 比べて試料GとJ地下水は負の年代が算出された。河川水は比較的停滞性であるが、G, Jの地下水は地下水の利用が盛んであり、地下水が河川水⑥に比べて流動が激しいためと考えられる。試料⑤とEの地下水はそれぞれ305~320m, 150.5~205mと深いので、年代は他の地下水と比べて古く、停滞性であ

ることが分かる。佐賀市周辺について見ると、内陸部では浅井戸の年代は新しい。中井戸の地下水は測定不能であるほど年代が古い。一方有明海沿岸では試料④の地下水 (深度301~306m) にもかかわらず、地下水の年代は新しく、地下水汲み揚げの頻度と海水の影響が大きいと考えられる。海水の影響は地下水の化学成分の分析結果からも指示される。白石地区の塩田川流域の地下水は試料11 (深度25m), 試料1 (深度45~56m) は浅井戸であるにもかかわらず地下水の年代は測定不可能であった。塩田川・六角川流域でも試料2 (深度50m), 9 (深度55~70m), A (深度80~100m) の地下水の年代は古く測定不可能であった。図15から分かるようにこの地域の他の試料より内陸部にあることと化学成分のヘキサダイアグラムより  $Na-HCO_3$  型の地下水であることから、海水の影響も少なく停滞性の地下水であると思われる。六角川流域では化学成分の分析より海水の影響が極めて大きいにも関わらず地下水の深度100m以上では地下水の年代の測定が不可能である。即ち以前に埋め立てられた地域であり、現在の海水の影響でないことが分かる。

地下水のトリチウム測定結果を要約すると次のようになる。

①内陸部では深度が深くなる程地下水の年代も増大する。

②有明海沿岸部では化学成分の分析結果より海水の影響が大きいと考えられる地域でも地下水の年代が古い地域と新しい地域があり、古い有明海粘土地質のからの塩水化と現在の海水の浸透による塩水化があることが分かる。したがって、有明海沿岸部では井戸の深度と地下水の年代とは一義的に関係づけられない。

### 4. まとめ

地下水の調査には今まで化学成分の分析と地質から議論されてきたけれども、本研

表3 地下水のトリチウム濃度と年代 (\*地表面, 地下水年代の一は50~70年以上の年代を示す)  
佐賀地区

	$\bar{n}_s$	$\bar{n}_b$	$\bar{n}$	$k_s$	$t_s$	$k_b$	$t_b$	$\sigma$	Te	a	E	Q	$\Delta Q$	Q	$Q_0$	地下水の年代(年)
⑥	5.00	—	0.55	90	20	—	—	0.072	1942.2	0.9876	28.02	0.828	0.108	—	0.828±0.108	*
G	4.65	—	0.60	90	20	—	—	0.069	1407.5	0.9910	26.71	0.944	0.109	0.944±0.109	—	-2.327±0.1636
J	4.70	—	0.65	93	20	—	—	0.069	1520.7	0.9903	26.68	1.025	0.109	1.025±0.109	—	-3.787±0.1636
F	4.10	—	0.05	88	20	—	—	0.067	1332.0	0.9915	27.59	—	—	—	—	—
⑤	4.70	—	0.25	91	20	—	—	0.070	1904.5	0.9878	28.24	0.373	0.105	0.373±0.105	—	14.15±0.499
E	4.20	—	0.15	91	20	—	—	0.067	1294.2	0.9917	27.19	0.232	0.104	0.232±0.104	—	22.58±0.6697

佐賀市周辺

	$\bar{n}_s$	$\bar{n}_b$	$\bar{n}$	$k_s$	$t_s$	$k_b$	$t_b$	$\sigma$	Te	a	E	Q	$\Delta Q$	Q	$Q_0$	地下水の年代(年)
4	4.50	—	0.40	90	20	—	—	0.068	3170.3	0.9798	26.93	0.632	0.107	—	0.632±0.107	*
3	4.40	—	0.30	92	20	—	—	0.068	3468.5	0.9779	26.24	0.487	0.111	0.487±0.111	—	4.625±0.6513
I	4.40	—	0.35	93	20	—	—	0.068	1483.0	0.9905	27.11	0.543	0.106	0.543±0.106	—	2.69±0.1666
10	4.20	—	0.15	91	20	—	—	0.067	1500.5	0.9904	27.46	0.230	0.103	0.230±0.103	—	17.95±0.676
H	4.05	—	0.00	91	20	—	—	0.068	1445.2	0.9907	27.06	—	—	—	—	—
K	4.10	—	0.05	92	20	—	—	0.067	1510.4	0.9903	27.00	—	—	—	—	—
④	4.60	—	0.15	92	20	—	—	0.070	1866.7	0.9881	28.36	0.223	0.104	0.223±0.104	—	9.36±0.335
L	4.05	—	0.00	92	20	—	—	—	1548.2	0.9901	26.54	—	—	—	—	—

白石地区

	$\bar{n}_s$	$\bar{n}_b$	$\bar{n}$	$k_s$	$t_s$	$k_b$	$t_b$	$\sigma$	Te	a	E	Q	$\Delta Q$	Q	$Q_0$	地下水の年代(年)
5	4.45	—	0.35	91	20	—	—	0.069	3400.1	0.9784	26.62	0.560	0.110	—	0.560±0.110	*
6	4.50	—	0.40	93	20	—	—	0.068	3437.9	0.9781	26.02	0.655	0.111	—	0.655±0.111	*
11	4.10	—	0.05	93	20	—	—	0.067	1465.7	0.9906	26.60	0.079	0.106	—	—	—
C	4.15	—	0.10	90	20	—	—	0.067	1362.7	0.9913	27.23	0.154	0.103	0.154±0.103	—	22.91±1.17
①	4.60	—	0.15	88	20	—	—	0.071	1736.9	0.9889	28.29	0.223	0.105	0.223±0.105	—	19.12±0.986
②	4.60	—	0.15	92	20	—	—	0.070	1774.7	0.9886	28.40	0.223	0.104	0.223±0.104	—	19.12±1.156
1	4.05	—	0.05	—	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	4.05	—	0.05	—	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	4.10	—	0.05	91	20	—	—	0.067	1424.9	0.9909	27.51	0.076	0.102	—	—	—
9	4.10	—	0.05	90	20	—	—	0.067	1462.7	0.9906	27.04	0.078	0.104	—	—	—
A	4.00	—	0.05	91	20	—	—	—	1514.3	0.9903	27.08	—	—	—	—	—
B	3.95	—	0.10	89	20	—	—	—	1552.1	0.9901	27.26	—	—	—	—	—
D	4.25	—	0.20	89	20	—	—	0.068	1352.5	0.9913	26.86	0.313	0.106	0.313±0.106	—	13.10±0.8179
③	4.50	—	0.05	89	20	—	—	0.058	1812.5	0.9884	28.38	—	—	—	—	—
7	4.05	—	0.00	91	20	—	—	0.067	1387.1	0.9911	27.63	—	—	—	—	—
M	4.30	—	0.25	91	20	—	—	0.068	1489.9	0.9905	26.04	0.404	0.110	0.404±0.110	—	8.57±0.1767

究によって地下水の動的挙動の情報をトリチウム測定によって知ることができた。地下水の汲み上げによる地盤沈下が激しい白石地区の多くの試料でトリチウム濃度が低いことと化学分析による塩水化を結びつけると、地下水の供給が直接有明海水が浸透しているよりも有明海粘土の地質の塩分が地下水脈として供給されていると考え

られる。地下水脈については今後一層の研究が必要である。さらに、低平地である佐賀は地下水の年代が予想どおりかなり古いので、地表での汚染は50~70年位後にその影響が表れることも考えていなければならない。



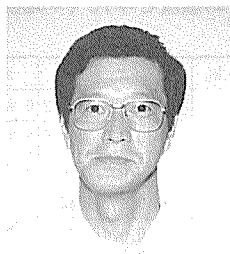
## 謝辞

本研究を遂行するにあたって低平地防災研究センタからの補助金を戴いたことを厚くお礼申し上げます。更に、トリチュウム測定にあたっては佐賀県環境センターにひとかたならぬ協力を戴きました。試料採水は土木工学科岩尾雄四郎教授および研究室の方々にお世話になりました。本論文をとおして感謝致します。

## 参考文献

- 1) 大島恒彦, 飯盛喜代春: 佐賀平野の地盤沈下と地下水, 佐賀大学教育学部研究論文集, 34, 335-344 (1982).
- 2) 三浦哲彦, 飯盛喜代春: 佐賀平野の地盤沈下と地下水水質, 地下水学会誌, 30巻, 29-34 (1988).
- 3) 三浦哲彦, 飯盛喜代春: 佐賀平野における揚水にともなう地盤沈下と地下水水質への影響, 土と基礎, 34巻, 13-18 (1986).
- 4) 三浦哲彦, 飯盛喜代春, 坂井晃: 佐賀平野の地盤沈下と地下水の塩水化について, 地質と調査, 28-34 (1987).
- 5) 永井茂: 地下水汚染の水文化学的アプローチ—無機汚染の実態と問題点—地下水学会誌, 33巻, 145-154 (1991).
- 6) 馬場保典: 最近の水質調査方法と計測技術, 地下水学会誌, 36巻, 473-485 (1994).
- 7) 科学技術庁: 放射能測定シリーズ9, トリチュウム分析法, (1977).

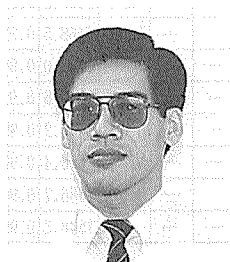
## 著者紹介



### 田端 正明

(たばた まさあき)

1970年 名古屋大学大学院修士課程修了  
1992年 佐賀大学教授



### 吉田 政敏

(よしだ まさとし)

1981年 佐賀大学理工学部化学科卒業  
1988年 佐賀県環境センター環境理学課  
主査



### 松本 幸子

(まつもと さちこ)

1996年 佐賀大学理工学部化学科卒業  
1996年 東和科学(株)調査設計部  
環境設計課