

三重県員弁川上流域における 隣接した2支流間の水の交流*

溝口晃之**・原 昭宏

三重県の北部を流れる員弁川の上流部は、員弁川と河内谷川という2つの小さな支流に分かれている。両支流は隣接し、その流域面積はほぼ同じである。しかも、地形、地質、気候、植生、土壌など河川の流出に影響を与える条件もほとんど同じである。しかし、古くから員弁川の水の一部が地下を通して河内谷川に入るため、両支流の河川流出量には大きな差があると言われてきた。そこで筆者らは、河川流出量、水温、水質などを調査することによってこの言い伝えを検証するとともに、当地域の水の交流と流出の機構を解明しようとした。その結果、河内谷川の水には員弁川流域から地下を通ってきた地下水が含まれていることが確かめられた。両支流を含む鈴鹿山脈一帯には石灰岩が広く分布し、多数の石灰洞が確認されており、それらの一部が水の移動経路になっていると考えられる。

[キーワード] 1 三重県 2 水の交流 3 流出 4 石灰洞

[keywords] 1 Mie Prefecture 2 interchange of water 3 runoff 4 limestone cave

1 はじめに

三重県北部を流れる員弁川は、鈴鹿山脈北部の東麓に源を発し上流部の石灰岩地帯を流下した後、中流部から下流部にかけてはほぼ南東流して伊勢湾に注いでいる。その流路延長距離は約35 km、流域面積は約265 km²である。最上流部において、小支流の河内谷川が員弁川の右岸に合流している（以後、河内谷川との合流地点より上流側の員弁川本流を単に員弁川という）（第1図）。

員弁川と河内谷川の河川の流域は隣接し、その流域面積は員弁川が5.83 km²、河内谷川が6.59 km²であり、ほぼ等しい。このように隣接し、しかも流域面積がせいぜい数 km²しかない両河川の流域の

間では、降水量・蒸発散量や地形・地質・植生・土壌などの河川流出に影響を与える諸条件には大きな差異はないはずである。しかし、当地では古くから、河内谷川の流量は員弁川よりも常に多いと言われてきた。そして、それは員弁川の水の一部が地下を通して、河内谷川に入るためではないかと考えられてきた。このような言い伝えを確かめるとともに、両河川の流域の間における水の交流を解明することを目的として、河川流出量・水温・水質などの水文学的な調査を行った。

なお、この地域を対象とした水文学的な研究については三重地理学会(1983)¹⁾があるが、そこでは前述のような両河川の水の交流については全く言及されていない。

* 本稿は1994年度日本地理学会春季学術大会において発表した内容を加筆・修正したものである。

** 愛知県立新川高等学校

II 調査地域の概況

1. 地形と地質

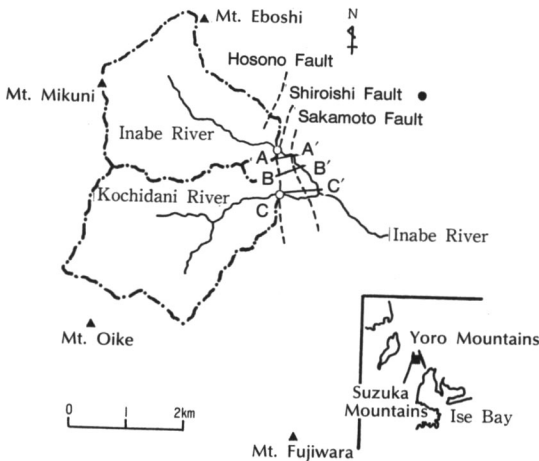
この地域の地形や地質の研究には、嘉藤(1957)²⁾、村田(1960)³⁾、赤嶺ほか(1963)⁴⁾、宮村ほか(1976)⁵⁾、磯部(1984)⁶⁾、沖村ほか(1984, 1986)^{7) 8)}などがある。それらによると、この地域の地形と地質は次のとおりである(第2図)。

両河川の流域は、鈴鹿山脈と養老山脈との間に位置している。かつて、古生代から中生代にかけて、この地域は海底で厚い地層が堆積していた。その後小規模ながら、中生代末期に花崗岩の貫入を受けた。これらがもとになってできた粘板岩・砂岩・頁岩・石灰岩・チャート・輝緑凝灰岩などの中古生層がこの地域の基盤をなしている。新生代のはじめころから、地層の傾斜や東西方向からの褶曲などの地殻運動が活発になり隆起を開始した。西側の背斜部が鈴鹿山脈、東側の背斜部が養老山脈にあたっている。造山運動は副次的に断層運動も生じさせ、鈴鹿山脈

の西側の近江伊賀断層、東側の一志断層が形成された。近江伊賀断層は比較的緩傾斜であるが、一志断層は急傾斜をなし、南北方向に延びている細野断層、白石断層、坂本断層の3つの断層に細分される。

鈴鹿山脈は、海拔高度1,000 m前後の壮年期の山容を呈しているが、山頂付近には準平原状の平坦面もみられる。鈴鹿山脈の北部では石灰岩が広く分布しているため、石灰岩地域特有の溶食地形がみられる。たとえば、藤原岳から御池岳にかけての山頂付近にはドリーネやカレンフェルトのカルスト地形がみられる。また、二酸化炭素を含んだ雨水が、石灰岩の節理や断層の割れ目などに沿って浸透してできた石灰洞も発達している。特に員弁川の流域は、洞窟の巣とよばれるほど石灰洞が発達している。員弁川左岸の三重県指定天然記念物の「篠立の風穴」と称する鍾乳洞はその典型例である。この地域の河岸や河床や石灰洞内には、溶食によってできた大小さまざまな凹地ができていて、複雑な水の流れの要因をなしている。

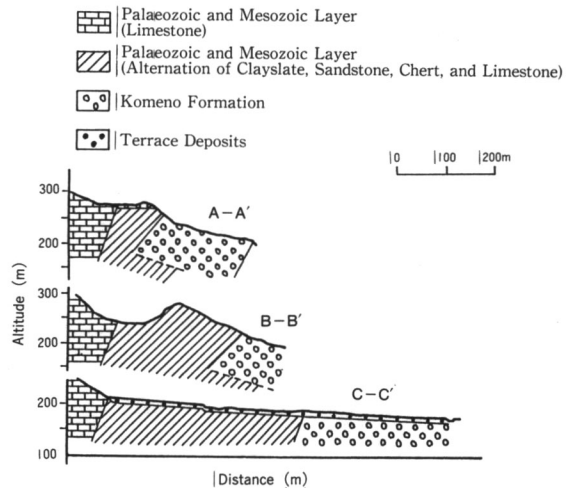
この流域は一志断層の影響で、かなり広い範囲で



第1図 調査地域の概要

Fig. 1 Location map of the study area

- : Observation point of Specific Discharge, Temperature, Water Temperature, and Water Quality
- : Observation point of Precipitation



第2図 調査地域の地質断面図

Fig. 2 Geological sections of the study area

The location of the profile of A-A', B-B', and C-C' is shown in Fig. 1

第1表 調査地域の気候

Table 1 Climate of the study area

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Year
T (°C)	3.0	3.6	6.7	9.2	16.6	21.8	25.7	27.4	23.1	18.4	12.3	7.4	14.8
P (mm)	32.5	90.8	96.8	214.8	158.9	250.2	216.2	155.8	154.4	165.6	89.0	55.4	1,680.4
E (mm)	3.7	5.4	15.8	28.4	77.3	122.9	157.0	164.2	115.6	73.5	35.6	15.2	814.6
P-E (mm)	28.8	85.4	81.0	186.4	81.6	127.3	59.2	-8.4	38.8	92.1	53.4	40.2	865.7

(T : Temperature, P : Precipitation, E : Evapotranspiration)

破碎帯となっている。断層付近では、チャートは灰白色で軟らかく崩れやすくなっているが、ここから離れるに従い次第に岩質は固くなる。傾向としては白石断層から西側は石灰岩が、白石断層と坂本断層との間は粘板岩・砂岩・チャート・頁岩・石灰岩・輝緑凝灰岩の互層が分布している。

一方、坂本断層の東側は海拔高度 200 m 前後の丘陵地帯となっている。比較的広い氾濫原が形成され、谷底平野もひろげている。ここは、鈴鹿山脈と養老山脈との間の地溝帯にあたっている。かつてこの地溝帯に形成されていた東海湖を埋めつくすように、鈴鹿山脈や養老山脈から礫・砂・シルト・粘土などが流入し堆積した。これらの地層は、下部から美鹿層・古野層・市之原層・暮明層・大泉層・米野層・東禅寺層・千可久連層とよばれ、桑名層群と総称されている。これらのうち、米野層とよばれる礫層が坂本断層の東側、つまり員弁川と河内谷川の流域の下流側の最上部に位置している。

2. 気候

両河川の流域内には気象観測所がない。そこで改善の策として、藤原町役場における観測値を利用して、この地域のおおよその気候の傾向を示した(第1表)。蒸発散量(E)は直接測定された資料がないので、Thorntwaite (1948)⁹⁾の方法を用いて求めた。第1表のEの値は、実蒸発散量ではなく可能蒸発散量であるが、月平均気温だけで算定が可能であること、日本のような湿潤気候のもとにおいては蒸

発に必要な水が常に地表付近に存在することにより妥当な値が得られるとされている。

この地域の気候は、おおむね温暖多雨であるといえる。しかし、やや内陸部にあり、しかも本州の狭隘部の関ヶ原の近くに位置するため寒暖の差が大きく、冬季には若狭湾から伊勢湾に向かって吹く北西の季節風によって雪がもたらされる。1月～2月は降水日数が多く、そのほとんどが雪である。また、積雪深も藤原岳の山頂で1 m 前後、山麓でも50 cm 前後になることがある。すなわち、太平洋岸気候区に属しながらも、冬季には日本海側の気候特性が現われる。

III 調査方法

1. 調査期間

1993年7月から1994年9月まで、ほぼ定期的に河川流出量、水温、水質の観測を行った。水温と水質については観測時刻の統一をはかるため、12時を観測時刻とした。この期間には、1993年の7月～8月の冷夏・多雨、1994年の7月～8月の猛暑・少雨が含まれ、夏季2ヶ月間の気温・降水量に対照的な違いがあったが、一方では水位が大きく異なる条件のもとでのデータを取得することができた。

2. 調査地点の概況

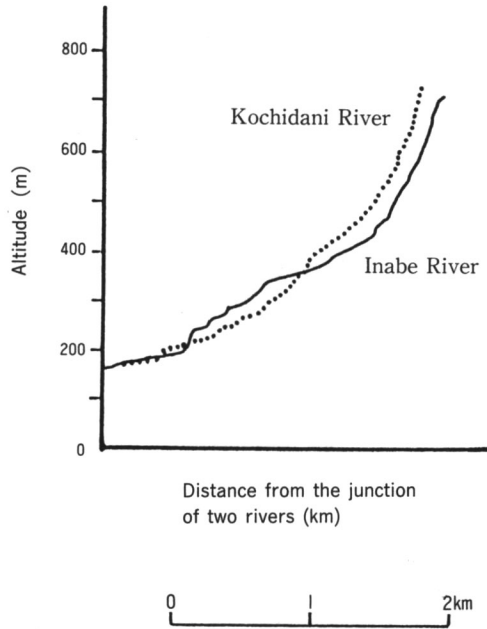
員弁川と河内谷川の合流地点よりも上流側を観測地点とした。海拔高度は員弁川の観測地点が約200

m, 河内谷川の観測地点が約 198 m である (三重県員弁郡藤原町, 1993)¹⁰⁾。両観測地点とも, 両岸にこの地域の基盤をなす中生層が迫り, 河床にもこの基盤が露出している。

員弁川では砂防堰堤が連続しており, その上流側には「本田用水」の取水口がある。「本田用水」は農業用水であり, 灌漑期にあたる 4 月から 9 月まで取水されている。「本田用水」の取水口と砂防堰堤との間で, しかも河床に極端な凹凸がない場所を河川流量の観測地点とした。

一方, 河内谷川でも砂防堰堤が連続しており最上段の堰堤に隣接して「船原用水」の取水口がある。これらの構築物の影響がなく, しかも河床に極端な凹凸がないところを河川流量の観測地点とした。

なお, 両河川とも, 源流から観測地点までの流下距離や河川勾配はほぼ同じである (第 3 図)。



第 3 図 観測地点より上流側の 2 つの河川の縦断面図
Fig. 3 Longitudinal cross section of two rivers above the observation points

3. 調査項目と測定方法

河川流量は, 流速計を用いて測定した流速に河川の横断面積を乗じて求めた。しかし, 員弁川から取水されている「本田用水」の流速の測定にあたっては, 流速計が使用できないほど水深が浅いため, 浮子法を用いた。この「本田用水」の流量を員弁川の河川流量に加え, 員弁川流域からの河川流出量とした (第 2 表)。

水温は, 電気伝導度の測定時に電気伝導度計に付属の温度計を用いて測定し, 水素イオン濃度指数 (pH) は BTB 比色法による。電気伝導度は温度によって変化するので, 25°C の値に補正した (第 3 表)。

両河川から採水した水は持ち帰って, Na^+ と K^+ については炎光光度法, Ca^{2+} と Mg^{2+} については EDTA 硬度法, Cl^- については硝酸第二水銀法, SO_4^{2-} については比濁法, HCO_3^- については pH 4.3 アルカリ度法をそれぞれ用いて水質分析を行った (第 4 表)。

第 2 表 員弁川と河内谷川の比流量
Table 2 Specific discharge of the Inabe River and the Kochidani River

Date	Time	Inabe River (A) ($\text{m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$)	Kochidani River (B) ($\text{m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$)	B/A
1993.08.04	10:00	—	0.221	—
1993.08.04	12:00	0.183	0.216	1.18
1993.08.04	14:00	0.178	0.217	1.22
1993.09.12	09:30	0.248	0.303	1.22
1993.11.03	12:00	0.031	0.087	2.81
1993.11.13	11:30	0.027	0.074	2.74
1993.12.05	13:00	0.049	0.087	1.78
1993.12.11	12:00	0.044	0.085	1.93
1994.01.11	13:00	0.069	0.090	1.30
1994.01.29	12:00	0.054	0.067	1.24
1994.03.04	12:00	0.084	0.093	1.11
1994.03.14	12:00	0.126	0.111	0.88
1994.03.28	12:00	0.059	0.110	1.86
1994.04.11	12:00	0.085	0.177	2.08
1994.04.27	12:00	0.067	0.146	2.18
1994.05.14	12:00	0.110	0.165	1.50
1994.05.25	12:00	0.097	0.143	1.47
1994.06.01	12:00	0.109	0.196	1.80
1994.06.27	12:00	0.050	0.119	2.38
1994.08.03	12:00	0.029	0.058	2.00
1994.08.30	12:00	0.017	0.051	3.00
1994.09.12	12:00	0.023	0.042	1.83
1994.09.27	12:00	0.039	0.102	2.62

第3表 員弁川と河内谷川の水温と水質

Table 3 Water temperature and water quality of the Inabe River and the Kochidani River

Date	Time	Weather	Inabe River				Kochidani River		
			Temperature (°C)	Water Temperature (°C)	pH	Electric Conductivity (μS/cm)	Water Temperature (°C)	pH	Electric Conductivity (μS/cm)
1993.07.16	12:00	fair	24.0	14.9	7.6	90	12.9	7.8	122
1993.07.21	12:00	cloudy	26.0	15.8	7.6	104	11.7	7.7	150
1993.08.04	12:00	rainy	20.0	14.4	7.8	87	12.2	8.0	138
1993.09.12	12:00	fair	26.5	15.3	7.6	75	12.4	7.8	156
1993.10.04	12:00	fair	20.0	13.2	7.6	122	12.2	7.8	168
1993.10.11	12:00	fair	20.0	13.5	7.6	125	13.2	7.8	167
1993.11.04	12:00	fair	19.0	12.2	7.7	124	11.2	7.8	168
1993.11.26	12:00	fair	13.0	10.1	7.6	100	10.6	7.9	165
1993.12.11	12:00	rainy	7.2	10.0	7.8	80	10.9	7.9	167
1993.12.12	12:00	fair	9.0	9.1	7.6	101	10.2	7.9	164
1994.01.11	12:00	fair	13.5	7.9	7.9	66	10.4	8.1	102
1994.01.29	12:00	snowy	3.8	7.3	7.9	105	8.5	8.1	153
1994.02.28	12:00	fair	10.4	6.9	7.6	99	9.8	7.9	165
1994.03.04	12:00	fair	7.3	7.8	7.6	100	10.7	7.7	119
1994.03.14	12:00	fair	13.1	6.8	7.6	90	10.3	7.9	163
1994.03.28	12:00	fair	11.2	7.5	7.6	91	10.9	8.0	156
1994.04.11	12:00	fair	23.2	9.0	8.0	101	12.2	8.2	172
1994.04.27	12:00	fair	21.4	10.9	8.1	110	12.6	8.0	177
1994.05.14	12:00	fair	22.0	12.3	7.8	96	16.5	8.0	167
1994.05.25	12:00	fair	24.0	12.8	7.9	107	13.3	8.0	175
1994.06.01	12:00	fair	23.0	13.3	7.7	96	12.8	8.0	168
1994.06.27	12:00	fair	32.4	14.1	8.0	124	13.1	8.1	181
1994.08.03	12:00	fair	32.5	14.2	8.0	139	13.8	8.1	171
1994.08.17	12:00	fair	32.4	14.8	8.0	134	13.8	8.0	174
1994.08.30	12:00	fair	36.1	15.3	8.0	153	15.3	8.0	187
1994.09.12	12:00	fair	26.3	14.5	8.0	143	13.2	8.1	165
1994.09.27	12:00	cloudy	22.4	14.4	7.9	125	12.1	7.9	166

第4表 員弁川と河内谷川の溶存成分

Table 4 Chemical compositions of the Inabe River (I. R.) and the Kochidani River (K. R.)

Date	Na ⁺ (mg/l)		K ⁺ (mg/l)		Ca ²⁺ (mg/l)		Mg ²⁺ (mg/l)		Cl ⁻ (mg/l)		SO ₄ ²⁻ (mg/l)		HCO ₃ ⁻ (mg/l)	
	I. R.	K. R.	I. R.	K. R.	I. R.	K. R.	I. R.	K. R.	I. R.	K. R.	I. R.	K. R.	I. R.	K. R.
1993.10.04	—	—	—	—	18.2	28.9	3.18	3.64	2.65	2.23	—	—	—	—
1993.11.04	—	—	—	—	18.4	29.6	3.23	3.74	2.80	2.10	—	—	—	—
1993.12.11	—	—	—	—	15.0	28.2	3.38	5.33	2.52	2.23	—	—	—	—
1994.01.11	3.50	2.25	0.25	0.25	13.0	28.0	4.41	3.02	2.11	2.11	10.0	10.5	51.2	90.9
1994.02.28	3.00	2.25	0.25	0.25	10.5	26.0	3.89	2.72	2.47	2.47	6.5	8.0	39.7	86.0
1994.03.04	3.00	2.25	0.25	0.25	12.5	25.5	4.35	3.53	2.47	2.47	12.5	12.5	48.8	86.0
1994.03.14	2.75	2.00	0.25	0.25	8.5	25.5	3.07	4.04	2.47	2.47	10.5	6.5	37.2	86.0
1994.03.28	3.00	1.75	0.25	0.25	11.5	26.5	3.84	3.94	2.11	2.11	5.0	8.0	39.7	90.9
1994.04.11	2.75	1.50	0.25	0.25	11.5	27.5	3.33	4.35	2.11	2.11	6.0	8.5	46.4	92.7
1994.04.27	3.00	2.00	0.25	0.25	14.0	27.5	2.81	2.81	2.47	2.11	6.5	8.0	53.6	92.7
1994.05.14	3.00	2.00	0.25	0.25	10.0	25.5	3.17	3.02	2.86	2.47	8.5	8.0	39.7	86.0
1994.05.25	3.00	1.75	0.25	0.25	11.5	25.5	3.84	4.04	2.47	2.11	8.0	6.0	46.4	88.5
1994.06.01	3.00	1.75	0.25	0.25	14.0	25.5	3.31	4.56	2.86	2.30	8.5	6.0	53.6	92.7
1994.06.27	3.00	1.50	0.25	0.25	15.0	26.5	3.22	4.97	2.86	2.86	10.0	8.0	56.1	90.9
1994.08.03	3.00	1.50	0.50	0.25	19.0	27.5	2.87	3.33	2.86	2.11	6.0	6.0	56.1	95.2
1994.08.17	3.00	1.75	0.50	0.25	17.0	28.5	3.54	3.22	2.30	2.11	6.0	8.0	67.7	92.7
1994.08.30	3.50	1.75	0.50	0.25	18.5	28.5	3.64	3.74	2.47	2.11	6.5	6.5	67.7	92.7
1994.09.12	3.00	1.75	0.50	0.25	18.5	27.5	3.64	3.33	2.47	2.11	6.0	6.0	67.7	95.2
1994.09.27	3.00	1.75	0.50	0.25	16.0	27.0	3.64	3.74	2.47	2.11	5.0	5.0	57.6	90.9
Average	3.03	1.84	0.33	0.25	14.3	27.1	3.49	3.74	2.80	2.19	7.6	7.6	51.8	90.6

IV 調査結果の考察

1. 比流量

両河川の流域面積が異なっているため、河川流出量を流域面積で除して比流量を求めた。両河川の比流量を比較すると、1994年3月14日を除けば、すべて員弁川よりも河内谷川の比流量の方が大きい。23回の観測のうち8回は河内谷川の値が員弁川の値の2倍を超え、特に1994年8月30日の観測では3倍にもなっている。

まず、ハイドログラフから両河川の降雨に対する反応について検討する(第4図)。ここでは、23回の観測によって得られた比流量を時系列順に並べたものを便宜的にハイドログラフとする。これによると、全体的には両河川とも降雨に対する反応が認められるが、その形態は異なっている。

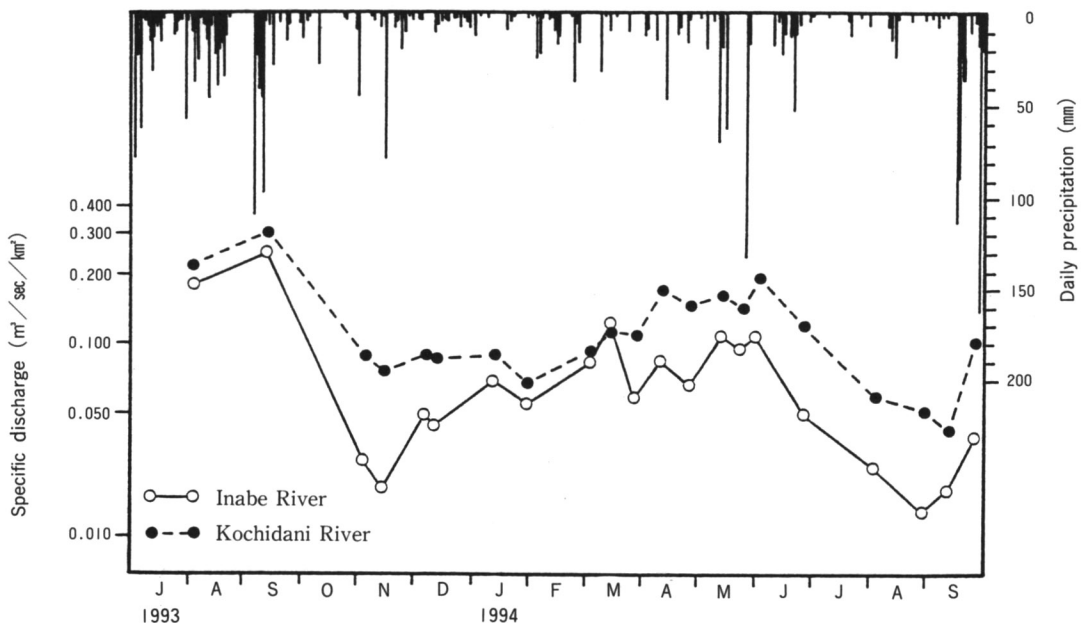
調査期間の大半を通して、減水曲線の傾きは河内谷川が員弁川よりも小さい。特に1993年の夏から秋

にかけての期間と1994年の春季以後において、両河川の減水曲線の傾きの差異は明瞭である。また、1994年6月1日、1994年9月12日、1994年9月27日の観測では、数日前の降雨に対して、河内谷川の流量の反応は員弁川よりもゆるやかである。特に1994年9月12日の観測では、観測前5日間の合計11mmの降雨に対して員弁川の流量はすぐに反応したが、河内谷川の流量は減水を続け、その形態は全く対照的であった。これらの事実は、両河川では河川流量に占める地表水以外の水の割合が異なっていることを示唆している。

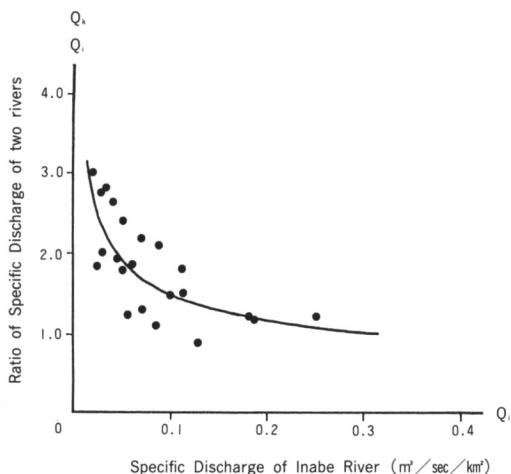
次に、横軸に員弁川の比流量を、縦軸に両河川の比流量の比をとり、員弁川の流量と両河川の流出状況との関係について調べた(第5図)。員弁川の比流量を Q_1 、河内谷川の比流量を Q_k とすると、次の関係が成り立つ。相関係数は -0.75 である。

$$\frac{Q_k}{Q_1} = 0.64 Q_1^{-0.36}$$

すなわち、員弁川の比流量が小さいときほど両河



第4図 2つの河川のハイドログラフと日降水量
Fig. 4 Hydrograph of two rivers and daily precipitation



第5図 員弁川の比流量と2つの河川の比流量の割合との関係
 Fig.5 Relation between specific discharge of the Inabe River and ratio of specific discharge of two rivers

川の比流量の比が大きくなり、反対に員弁川の比流量が大きいきほど両河川の比流量の比は小さくなる傾向にある。このことについては、以下のように考えることができる。

降雨中やその直後のように河川流出量が多いときには、両河川とも表面流出の占める割合が大きくなるため、両河川の比流量の差が小さくなる。ところが、河川流出量が少ないときほど、両河川の流出の状況が異なってくる。すなわち、員弁川では降雨後間もなく比流量が小さくなるのに対して、河内谷川では降雨後もしばらくは比流量が大きい状態が続いている。このことは、河内谷川の河川流出量には、地表水以外の水が入っていることを示唆している。

上に述べたように、1994年3月14日は河内谷川の比流量よりも員弁川の比流量が大きかった。その理由については、次のように考えることができる。この地域では、3月中旬は積雪期にあっている。3月14日前後には河内谷川流域よりも員弁川流域の方に多くの積雪があった。それが3月12日の降雨と翌日の気温上昇によって融雪がすすみ、大きな河川流出となって員弁川にあらわれた。このとき、河

内谷川にくらべて員弁川の水温が極端に低くなり、両河川の水温の差が最大になったこともこの仮説を裏づけている。

以上のことから、河内谷川の河川流出量には、地表水以外の水が含まれている可能性がある。

2. 水温

両河川の水温は、6月と11月を境として、夏季には河内谷川は員弁川にくらべて約2℃低いのに対して、冬季には約3℃高い(第6図)。なお、夏季の温度差は4℃に及ぶこともある。

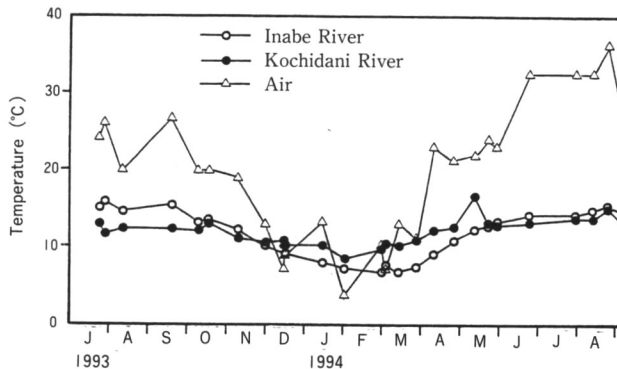
水温の年変化が気温のそれに近い形態を示すのは員弁川である。つまり、河内谷川にくらべて、員弁川は水温の年変化が大きい。

次に、両河川の水温の日変化を比較した。調査期間中、比較的明瞭な気温の日変化が認められた1993年7月16日には、気温の日変化との時間的ずれが生じているとともに、水温の日変化は河内谷川よりも員弁川の方が大きかった(第7図)。

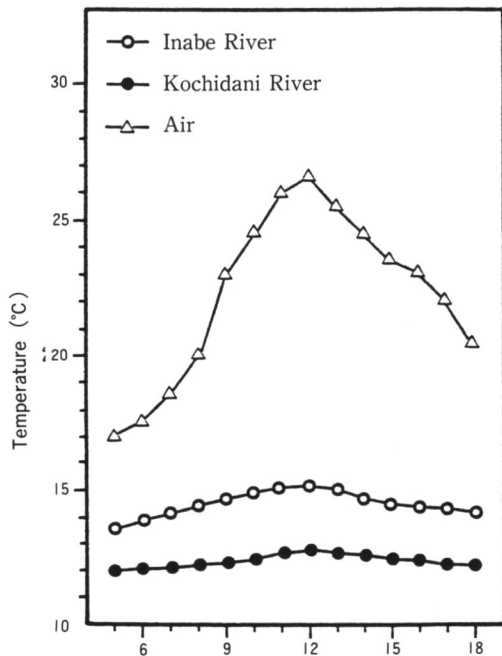
一般に地下水は地表水にくらべて気温の変化の影響を受けにくいことを考えれば、このような水温変化の差異は両河川の河川流出量に占める地下水の割合の差異を反映したものと考えられる。

3. 水質

1) 水素イオン濃度指数 (pH)



第6図 2つの河川の水温の年変化
 Fig.6 Annual change in water temperature of two rivers



第7図 2つの河川の水温の日変化

Fig. 7 Daily change in water temperature of two rivers

両河川の pH は 8.0 前後で、日本の他の河川にくらべると高い。また、1994 年 4 月 27 日を除けば、河内谷川の pH は員弁川の pH よりも高い(第 8 図)。両河川の間では、比流量が大きいときの pH に明瞭な差異が認められる(第 9 図)。すなわち、比流量が小さいときには両河川とも pH が高いのに対して、比流量が大きいときには員弁川にくらべて河内谷川の pH はそれほど低くはない。その理由については、次のように考えることができる。

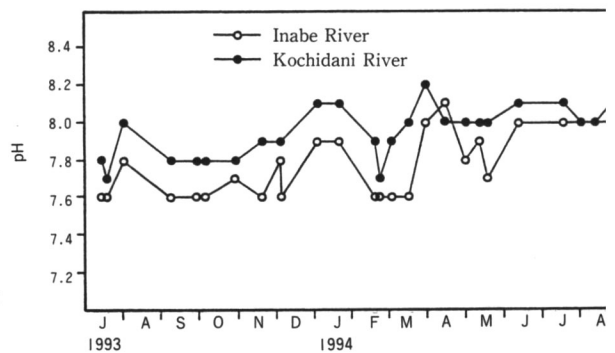
雨水の pH は 5.4 前後であるが、地上に到達してからさまざまな物質が溶けこむことによって、その値が高くなる傾向がある。比流量が大きいときには河川流出量に占める地表水の割合も大きいから、pH の低い雨水が影響し全体として河川水の pH が低くなる。反対に比流量が小さいときには、河川流出量に占める地表水の割合も小さいから、pH の低い雨水がそれほど影響を与えず、全体として河川水の

pH が高くなる。つまり、河川水に占める地表水の割合という観点から考えた場合、比流量が大きいときの pH の差異は、両河川の流出の特徴を表わしているといえる。

一般に地下水の流動は地表水のそれにくらべて、きわめてゆっくりとしていること、すなわち滞留時間が長いことを考えると、河内谷川の水は、員弁川の水にくらべて、降水が地上に達してからの経過時間が長く、地下水流出成分を多く含んでいることを示している。

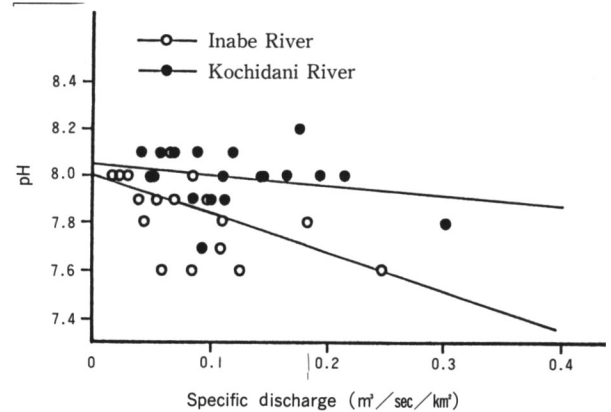
2) 電気伝導度

河内谷川の電気伝導度は常に員弁川の電気伝導度



第8図 2つの河川の水素イオン濃度の年変化

Fig. 8 Annual change in pH of two rivers



第9図 比流量と水素イオン濃度との関係

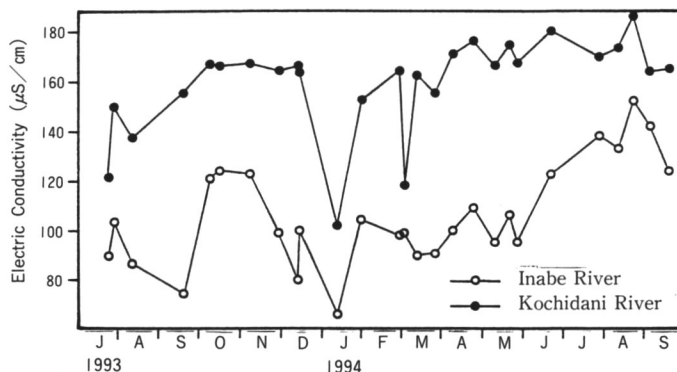
Fig. 9 Relation between specific discharge and pH

よりも高い（第10図）。しかも、両河川の間で比流量が大きいときの電気伝導度に明瞭な差異が認められる（第11図）。すなわち、比流量が小さいときには両河川とも電気伝導度が高いのに対して、比流量が大きいときには員弁川にくらべて河内谷川の電気伝導度はそれほど低くはない。その理由については、次のように考えることができる。

電気伝導度は水中の溶存電解質の濃度にほぼ比例する。つまり、雨水の電気伝導度は低いが、地上に到達してから、さまざまな物質が溶けこむことによって、その値が高くなる傾向がある。このため比流量が大きいときは、河川流出量に占める地表水の割合も大きいから、電気伝導度の低い雨水が影響して、

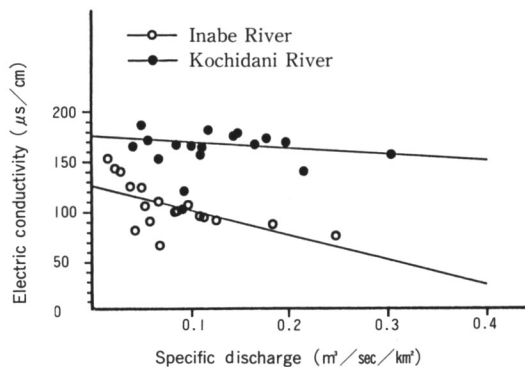
全体として河川水の電気伝導度が低くなる。反対に比流量が小さいときは、河川流出量に占める地表水の割合も小さいから、電気伝導度の低い雨水がそれほど影響を与えず、全体として河川水の電気伝導度が高くなる。水素イオン濃度指数の場合と同様に、河川水に占める地表水の割合という観点から考えた場合、比流量が大きいときの電気伝導度の差異は両河川の流出の特徴を表わしているといえる。

前述のような地下水の流動の特徴を考えると、河内谷川の水は員弁川の水にくらべて降水が地上に達してからの経過時間が長く、地下水流出成分を多く含んでいることを示している。



第10図 2つの河川の電気伝導度の年変化

Fig. 10 Annual change in electric conductivity of two rivers



第11図 比流量と電気伝導度との関係

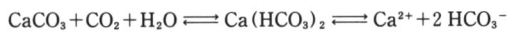
Fig. 11 Relation between specific discharge and electric conductivity

3) 溶存成分

最後に溶存成分からみた両河川の特徴について検討したい。そこで、水質分析の結果をパイパー・トリリニア・ダイアグラムに表わすとともに、山本(1968)¹¹⁾による中部地方の河川の水質をも合わせて示した(第12図)。

まず、 Cl^- の濃度がきわめて低いことがあげられる。調査地点よりも上流側には人家や工場がなく、牧畜も行われていないことから、人為的な汚染は考えられない。また、この地域の河川が海水の侵入による影響を受けているはずはなく、化石塩水の存在もないから、 Cl^- は降雨による海塩の影響であろうと考えられる。このため、人為的な影響を考慮する必要はないと判断した。

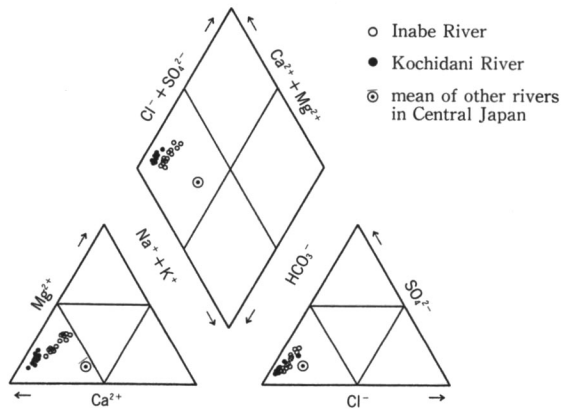
両河川の水質は、ともに、 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型になっている。しかし、中部地方の他の河川にくらべると、 Ca^{2+} と、 HCO_3^- の割合が高くなっている。これはこの地域が石灰岩地帯であり、



という化学反応が行われているためであろうと考えられる。両河川の間には溶存成分の明瞭な差異が認められる。とりわけ、 Ca^{2+} と HCO_3^- の差異は顕著で、員弁川よりも河内谷川の方が大きい、

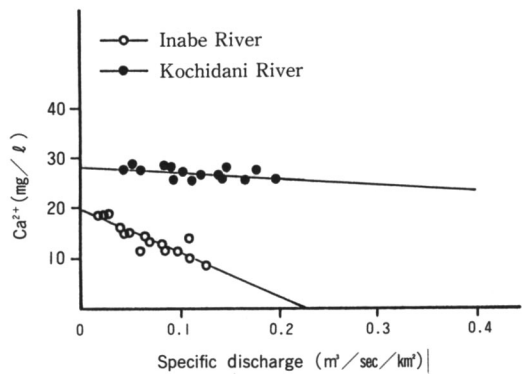
次に、 Ca^{2+} と HCO_3^- について比流量との関係を考察する(第13図、第14図)。 Ca^{2+} および HCO_3^- とも、比流量が大きいときは濃度が低く、比流量が小さいときほど濃度は高い。その理由については、水素イオン濃度指数や電気伝導度の場合と同じであろうと考えられる。

これらのことにより、河内谷川の水は石灰岩地域の地下を流れてきた水をより多く含んでいると結論づけることができる。



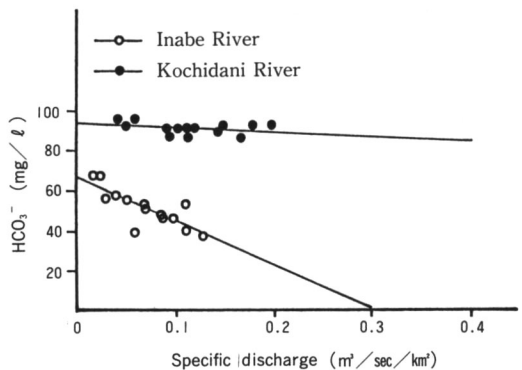
第12図 パイパー・トリリニア・ダイアグラムによる2つの河川の水質

Fig. 12 Water quality of two rivers represented with Piper trilinear diagram



第13図 比流量と Ca^{2+} との関係

Fig. 13 Relation between specific discharge and Ca^{2+}



第14図 比流量と HCO_3^- との関係

Fig. 14 Relation between specific discharge and HCO_3^-

V おわりに

従来、この地域を流れる員弁川と河内谷川の両河川の間には、大きな河川流出量の差があり、その理由として員弁川の水の一部が地下を通過して河内谷川に入るのではないかと考えられてきた。それを検証するために、河川流出量・水温・水質などの水文学的な調査を行った。

その結果、河川流出量に大きな差があることが確かめられた。また、ハイドログラフの分析から、河内谷川には地表水以外の水が含まれている可能性があることも明らかになった。水温や水質の調査結果に照らし合わせると、地表水以外の水は、員弁川か

ら地下を通過して河内谷川流域へ移動している地下水であると考えてよいであろうと判断した。

ただし、水の移動の経路として考えられる石灰洞が、両河川の流域以外にも広く分布していることから、両河川の流域以外の地域との水の交流の可能性も否定できない。

本研究をまとめるにあたり、三重県員弁郡藤原町長伊藤正俊、同町役場総務課長岡弘和、水資源開発公団三重用水管理所水源管理支所長小林勲の各位には特別な御配慮をいただいた。また、現地調査と資料解析においては、愛知教育大学生の太田正恵・山田正光・相徳知己・酒井章司・高木一成・三島勇治・山下卓重（いずれも当時）の各氏の手をわずらわせた。併せて、深く感謝の意を表する。

(1996年11月22日 受付)

(1996年12月20日 受理)

注および参考文献

- 1) 三重地理学会(1983)：三重県員弁郡藤原町調査報告。三重地理学会報，34，44～85。
- 2) 嘉藤良次郎(1957)：養老山脈南縁の地質構造及び鈴鹿山脈の形成。地質学雑誌，63，743。
- 3) 村田正文(1960)：鈴鹿山脈藤原嶽附近の古生層。東北大学理科報告(地質学)特別号，4，599～604。
- 4) 赤嶺秀雄・荒木慶雄・安田敏夫(1963)：鈴鹿山脈の特殊景観。三重県自然科学研究会『鈴鹿山脈自然科学調査報告書』三重県自然科学研究会，35～43 p。
- 5) 宮村 学・三村弘二・横山卓雄(1976)：彦根東部地域の地質。地質調査所，49 p。
- 6) 磯部 克(1984)：御池岳山頂付近に分布するドリーネについて。鈴鹿山脈北部石灰岩地域自然科学調査報告書(I)，5～7。
- 7) 沖村雄二・鈴木茂之・出口省吾(1984)：鈴鹿山脈，藤原岳石灰岩地域の地質構造と造構運動。DESK 総研報，3，21～27。
- 8) 沖村雄二・鈴木茂之・藤田 宏・吉田 靖(1986)：鈴鹿山脈中部，鞍掛峠層・幾里谷層の再検討。大阪微化石研究会誌，特別号，7，181～185。
- 9) C. W. Thornthwaite(1948)：An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*，38，55～94。
- 10) 三重県員弁郡藤原町(1993)：1：25,000の地形図。
- 11) 山本荘毅(1968)：『陸水』共立出版。347 p。

Interchange of Water between Two Neighboring Branch Rivers in the Upper Inabe Basin, Mie Prefecture

Teruyuki MIZOGUCHI*, Akihiro HARA

The upper Inabe River flowing in the north of Mie Prefecture consists of two small branch rivers, the Inabe and the Kochidani. The drainage basins of the two branch rivers are neighboring, and their drainage areas are almost equal. Landform, geology, climate, vegetation and soil of two basins, which have some effects on river runoff, are very similar. But it has been said that the river discharge of the two branch rivers is different, because some part of water of the Inabe River flows into the Kochidani basin through under-ground route. So by surveying river discharge, water temperature and water quality, the authors tried to verify this assumption and to make clear the system of interchange of water and runoff in this study area. As the result, it has been confirmed that water of the Kochidani Basin including groundwater flowing from the Inabe Basin through underground route. Limestone is widely distributed in the Suzuka Mountains including the two river basins. Many limestone caves are found in the region, therefore some of them are considered to be the route of water flow.

* Shinkawa Senior Highschool, Aichi Prefecture