

香川の水（第13報） 水道水源における水質の季節変動について

小島 俊男・須崎千寿子・黒田 弘之

I 緒 言

香川県は夏期・冬期に渇水時期となり、水道水源の水質に何らかの影響を及ぼすのではないかと考えられる。また水道原・浄水の年1回の全項目検査においても、その検査結果を採水時期によってどう評価すればよいのかわ不明な点も多い。

そこで昭和56年度から61年度までの5年間にわたり、香川県の水道水源を5地域ブロックにわけ、また一年間の季節を降水量と気温により5季節に区分し、各地域ブロックごとに5季節の水質を調査した。これらの水質データについて季節変動があるか否かを塩素イオン等の水質項目ごとに分散分析法により統計的に解析することを試みたのでその結果を報告する。

II 方 法

1. 調査方法

昭和56年度から60年度までの5年間に、水道法に定められた全項目検査を行うために当所に依頼された水道原水94か所、水道浄水59か所について、その検査結果を解析した。

地域ブロック分けについては、図1のとおりである。解析を行うための季節区分については、香川県気象暦¹⁾を参考にし、表1のように5つの季節に分けた。そして

採水時期については、各年度ごとに5地域ブロック（A～E）を5季節（I～V）に割りつけ、表1の様に5年間で各ブロックが1回ずつ各季節に採水される様にした。これらの配分については、まったく任意に行った。

採水年度のうち、昭和56年度と59年度は秋雨季に少雨か、台風によってもたらされる降水がなかったため渇水年になっている。地域ブロックについては、ブロックAが大川・木田郡の東讃地域、ブロックBが小豆島、直島の離島部と高松平野南方の3町および中讃の2市、ブロックCが綾川、土器川流域の中讃地域の1市6町、ブロックDが金倉川から満濃池、阿讃山脈へと通ずる5町、ブロックEが高瀬川、財田川流域沿いの西讃地方である。

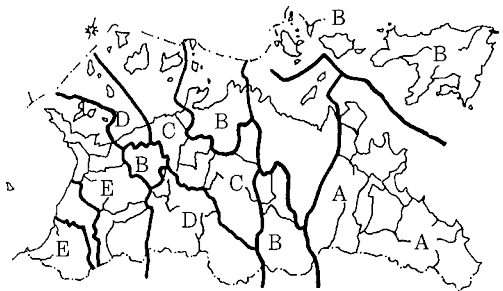


図1. 地域ブロック区分

表1. 季節区分と地域ブロックごとの採水の配分

季節区分	平年降水量, 平年気温等	昭和56	57	58	59	60年度
I (春季)	雨量約 100 mm, 気温10~20°C 4~5月	A	B	D	E	C
II (梅雨・秋雨季)	約 150 mm, " 20~25°C 6~7月上旬, 9月中旬~10月上旬	B	A	C	D	E
III (夏季)	" 100 mm以下, " 25°C以上 7月上旬~9月中旬	C	D	E	A	B
IV (秋季)	" 約70mm, " 10~18°C 10月上旬~11月	D	E	B	C	A
V (冬季)	" 50mm以下, " 10°C以下 12~2月	E	C	A	B	D

A: 大川郡, 木田郡 B: 小豆郡, 香川郡, 坂出市, 善通寺市
D: 仲多度郡 E: 三豊郡 C: 綾歌郡, 丸亀市

2. 検査方法

調査・解析項目は、硝酸性および亜硝酸性窒素、塩素イオン、過マンガン酸カリウム消費量、鉄、マンガン、フッ素、硬度、蒸発残留物、pH値、色度、濁度の11項目について行った。測定は、水道法に基づく水質基準に関する省令および上水試験方法(1978年版)により分析した。

3. 解析方法

降水量と気温で区分した5季節により、水質値が有意に変動するか否かについて、2元配置の分散分析法により検定した。分散分析は各水質項目について、原水は水源別、ブロック別に、また浄水はブロック別に行った。ブロック別に解析を行った結果が、多くのブロックで有意差が認められれば、より普遍性があると考えた。

Ⅲ 結果および考察

各水質項目について、水道原水を水源別・ブロック別に分散分析した結果を表2~12に示す。測定した水源数および使用したデータの平均値と標準偏差も同時に示す。さらに浄水(給水栓水等)についても各ブロックごとに一まとめにして解析した。分散比F値の右側に付してある記号*, **は5%および1%の危険率で有意差が認められることを示す。調査していない水源(—で示す)は、そのブロック内に調査できる2水源以上がなかったため分散分析で有意差を検定できなかった箇所である。

表2~12より、貯水池・ダムおよび河川表流水の地表水源については、硝酸性および亜硝酸性窒素が調査したA,B,C,Eブロックのすべてで5%または1%の危険率で有意差が認められた。またマンガン、硬度が河川表流水

表2. 硝酸性および亜硝酸性窒素の分散比

水 源 別	Aブロック			Bブロック			Cブロック			Dブロック			Eブロック		
	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F
貯水池・ダム	4	0.72±0.40	6.92**	4	0.72±0.61	3.77*	4	0.92±0.80	6.70**	—	—	—	—	—	—
河川表流水	—	—	—	18	0.75±0.51	3.15*	—	—	—	—	—	—	3	1.92±0.58	6.95*
河川伏流水	—	—	—	—	—	—	2	1.20±0.51	0.68	—	—	—	—	—	—
浅井戸	20	2.64±1.17	2.37	4	3.21±1.95	2.59	6	3.04±1.91	1.68	5	3.81±1.58	13.10**	10	3.74±1.87	1.08
深井戸	—	—	—	—	—	—	3	0.33±0.57	0.89	—	—	—	6	0.75±0.82	0.37
浄水	12	1.14±1.03	1.49	12	1.44±1.72	1.39	12	1.12±0.87	4.75**	12	2.23±1.66	8.95**	11	1.23±1.20	1.83

N: 水源数, M: 平均値(mg/ℓ), SD: 標準偏差(mg/ℓ), F: 分散比, *: P < 0.05, **: P < 0.01

表3 塩素イオンの分散比

水 源 別	Aブロック			Bブロック			Cブロック			Dブロック			Eブロック		
	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F
貯水池・ダム	4	8.2±1.8	2.66	4	12.2±1.6	3.73*	4	12.6±7.1	2.97	—	—	—	—	—	—
河川表流水	—	—	—	18	13.6±8.1	1.12	—	—	—	—	—	—	3	64.6±61.2	0.93
河川伏流水	—	—	—	—	—	—	2	18.2±4.8	5.06	—	—	—	—	—	—
浅井戸	20	24.5±11.8	11.26**	4	20.8±5.0	4.05*	6	31.4±6.0	6.22**	5	36.0±8.8	16.32**	10	24.8±7.1	3.61*
深井戸	—	—	—	—	—	—	3	26.1±8.6	0.47	—	—	—	6	13.9±8.0	0.94
浄水	12	16.0±7.0	3.11*	12	16.6±6.9	2.80*	12	21.3±10.6	1.74	12	17.7±9.3	4.66**	11	23.0±32.2	3.24*

表4 過マンガン酸カリウム消費量の分散比

水 源 別	Aブロック			Bブロック			Cブロック			Dブロック			Eブロック		
	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F
貯水池・ダム	4	5.2±1.7	0.60	4	8.7±3.8	1.06	4	8.8±5.3	1.68	—	—	—	—	—	—
河川表流水	—	—	—	18	6.1±3.5	4.60**	—	—	—	—	—	—	3	22.8±10.0	2.61
河川伏流水	—	—	—	—	—	—	2	3.1±1.5	1.98	—	—	—	—	—	—
浅井戸	20	1.9±0.9	9.77**	4	1.7±0.9	3.39*	6	6.1±4.7	25.80**	5	2.3±1.3	143.74**	10	2.5±1.6	20.25**
深井戸	—	—	—	—	—	—	3	2.7±1.7	3.98*	—	—	—	6	2.1±2.5	1.09
浄水	12	2.3±1.1	2.22	12	2.1±1.0	0.61	12	2.0±0.9	1.91	12	2.1±1.1	5.99**	11	1.9±1.3	8.94**

表5 鉄の分散比

水 源 別	Aブロック			Bブロック			Cブロック			Dブロック			Eブロック		
	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F
貯水池・ダム	4	0.29±0.26	3.91*	4	0.32±0.23	0.88	4	0.21±0.15	1.20						
河川表流水				18	0.25±0.27	6.55**							3	0.80±0.31	0.84
河川伏流水							2	0.05±0.04	0.94						
浅井戸	20	0.03±0.04	1.50	4	0.02±0.01	0.45	6	0.19±0.26	2.19	5	0.05±0.10	1.03	10	0.06±0.13	1.54
深井戸							3	1.98±2.68	0.90				6	0.30±0.67	1.40
浄水	12	0.05±0.05	1.77	12	0.04±0.05	2.16	12	0.04±0.07	1.46	12	0.05±0.06	1.71	11	0.05±0.05	0.04

表6 マンガンの分散比

水 源 別	Aブロック			Bブロック			Cブロック			Dブロック			Eブロック		
	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F
貯水池・ダム	4	0.06±0.10	2.47	4	0.14±0.34	0.70	4	0.05±0.07	1.25						
河川表流水				18	0.04±0.06	5.58**							3	0.22±0.12	6.31*
河川伏流水							2	0.01±0.00	1.00						
浅井戸	20	0.01±0.02	1.16	4	0.01±0.00	1.29	6	0.04±0.05	2.52	5	0.01±0.00	1.00	10	0.01±0.01	1.83
深井戸							3	0.17±0.09	0.97				6	0.23±0.80	0.97
浄水	12	0.01±0.01	1.80	12	0.01±0.00	0.75	12	0.01±0.00	0.66	12	0.01±0.01	1.11	11	0.01±0.00	1.00

表7 フッ素の分散比

水 源 別	Aブロック			Bブロック			Cブロック			Dブロック			Eブロック		
	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F
貯水池・ダム	4	0.13±0.08	1.46	4	0.09±0.05	0.64	4	0.12±0.07	1.11						
河川表流水				18	0.10±0.08	0.38							3	0.36±0.15	20.73**
河川伏流水							2	0.11±0.03	1.50						
浅井戸	20	0.13±0.06	1.52	4	0.08±0.02	1.69	6	0.13±0.08	6.22**	5	0.06±0.01	0.54	10	0.16±0.16	2.39
深井戸							3	0.50±0.27	2.58				6	0.26±0.43	0.60
浄水	12	0.11±0.06	2.40	12	0.09±0.05	3.06*	12	0.09±0.05	2.47	12	0.06±0.01	3.18*	11	0.12±0.09	5.72**

表8 硬度の分散比

水 源 別	Aブロック			Bブロック			Cブロック			Dブロック			Eブロック		
	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F
貯水池・ダム	4	42.2±18.6	1.52	4	38.3±18.1	1.25	4	48.2±25.0	4.37*						
河川表流水				18	51.6±24.0	6.41**							3	120±49.5	7.65**
河川伏流水							2	79.9±18.7	1.58						
浅井戸	20	73.9±23.0	14.67**	4	90.0±24.2	8.05**	6	112±25.6	5.68**	5	130±17.1	15.26**	10	99.1±39.3	56.68**
深井戸							3	93.3±30.2	1.78				6	41.7±32.8	4.09*
浄水	12	57.7±30.9	7.77**	12	65.2±26.1	8.34**	12	65.1±28.8	3.21*	12	65.0±37.0	1.15	11	52.5±40.1	15.13**

表9 蒸発残留物の分散比

水 源 別	Aブロック			Bブロック			Cブロック			Dブロック			Eブロック		
	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F
貯水池・ダム	4	85±27	3.57*	4	96±30	3.81*	4	105±50	2.03						
河川表流水				18	118±46	2.19							3	298±129	0.74
河川伏流水							2	144±43	1.47						
浅井戸	20	177±47	21.68**	4	164±37	4.67*	6	228±38	5.51**	5	284±47	21.57**	10	211±63	9.60**
深井戸							3	226±44	1.31				6	149±51	1.14
浄水	12	126±57	3.64*	12	125±44	1.67	12	131±57	2.51	12	153±70	4.64**	11	135±70	7.07**

表 10 pH値の分散比

水 源 別	Aブロック			Bブロック			Cブロック			Dブロック			Eブロック		
	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F
貯水池・ダム	4	7.3±0.4	2.12	4	7.1±0.4	0.54	4	7.3±0.4	1.03						
河川表流水				18	7.3±0.4	2.51							3	7.4±0.4	2.10
河川伏流水							2	6.6±0.1	10.99*						
浅井戸	20	6.4±0.3	6.51**	4	6.4±0.2	3.85*	6	6.6±0.4	2.93*	5	6.2±0.2	10.00**	10	6.5±0.2	4.62**
深井戸							3	7.1±0.3	0.44				6	6.7±0.5	0.94
浄水	12	6.9±0.4	2.59	12	7.0±0.4	4.49**	12	6.8±0.3	2.68*	12	6.7±0.3	6.09**	11	6.8±0.2	6.79**

表 11 色度の分散比

水 源 別	Aブロック			Bブロック			Cブロック			Dブロック			Eブロック		
	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F
貯水池・ダム	4	9±3	0.31	4	17±9	0.97	4	13±9	1.72						
河川表流水				18	11±8	5.81**							3	40±12	1.25
河川伏流水							2	2±2	1.00						
浅井戸	20	1±1	2.32	4	1±0	1.00	6	9±12	2.84	5	1±0	1.00	10	2±2	1.09
深井戸							3	11±26	1.00				6	5±9	1.41
浄水	12	1±1	1.00	12	1±0	1.00	12	1±0	0.99	12	2±2	1.51	11	1±0	1.00

表 12 濁度の分散比

水 源 別	Aブロック			Bブロック			Cブロック			Dブロック			Eブロック		
	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F	N	M±SD	F
貯水池・ダム	4	3.7±2.1	5.40*	4	4.9±3.6	1.21	4	4.6±4.6	1.49						
河川表流水				18	3.5±3.1	1.85							3	12.8±5.0	1.65
河川伏流水							2	0.3±0.3	4.49						
浅井戸	20	0.2±0.2	0.50	4	0.2±0.2	0.55	6	2.4±3.2	0.21	5	0.1±0.1	1.00	10	0.5±2.2	0.97
深井戸							3	7.8±19.4	0.99				6	2.5±6.4	1.02
浄水	12	0.3±0.5	1.09	12	0.3±0.5	0.87	12	0.3±0.5	2.72*	12	0.6±1.41	1.00	11	0.2±0.2	1.00

のB, E両ブロックで5%または1%の危険率で有意差が認められた。このうち硝酸性および亜硝酸性窒素については、地表水で一定の傾向がみられた。貯水池・ダムおよび河川表流水の各ブロックについて各季節ごとに平均した値を図2, 3に示す。図2, 3より各ブロックとも春季(I)で濃度が高く, II, III季に減少し, 再び冬季(V)に上昇するという傾向を示した。これは, 各ブロックにおいて同様の傾向を示すことから, 年度によらず一定の傾向になっているといえる。このことは, 地表水が水田・畑地等地表からの排水の影響を直接的に受けることを考えると, 水田等に対する施肥の時期(春先に元肥を施用する)と一致しており, 窒素肥料による影響がうかがえる²⁾。

次に, 地下水源のうち浅井戸水源では, 塩素イオン, 過マンガン酸カリウム消費量, 硬度, 蒸発残留物, pH値の5項目が, A~Eのすべてのブロックで, 5季節の間の季節変動に, 5%または1%の危険率で有意差が認められた。このうち硬度については, 5ブロックすべて

で1%の危険率で強い有意差が認められた。深井戸水源では, 調査したC, E両ブロックで有意差が認められる項目は見い出されなかった。河川伏流水では, Cブロックだけしか調査できなかったが, pH値が5%の危険率で有意差が認められた。

このうち浅井戸水源については, 地表からの降水等が地下へ浸透することにより水脈となっている³⁾ので, 降水量, 水温等が何らかの形で関与しながら, 地質からカルシウム, マグネシウム等を溶出したり⁴⁾, 地表から塩素イオン, 有機物等を溶解・透過して, 季節的な変動をしていることが考えられる。

次に水質項目が県全体として有意差が認められるか, また年度間によって有意差が認められるか否かを解析してみた。浅井戸については全ブロックで採取できるので, 分散分析法におけるラテン方格法が適用できる(表1)。ラテン方格法によって分散分析した結果を表13に示す。使用した値は各ブロックの各季節ごとの平均値を用いた。表13より, ブロックごとに分散分析した結果有意差が認

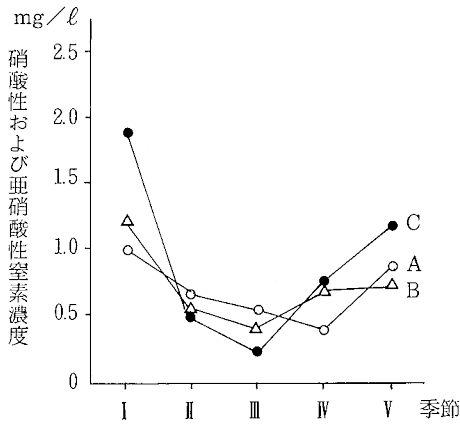


図2. 貯水池・ダムにおける硝酸性および亜硝酸性窒素濃度の季節変動

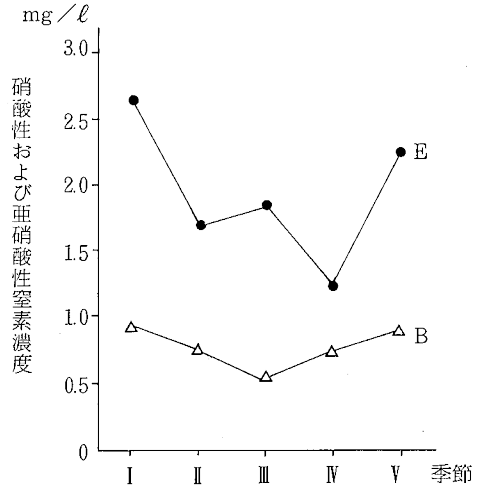


図3. 河川表流水における硝酸性および亜硝酸性窒素濃度の季節変動

表13. 浅井戸水源のラテン方格法による分散比

水質項目	F(年度間)	F(季節変動)	F(ブロック間)
硝酸性および亜硝酸性窒素	0.89	3.84*	2.42
塩素イオン	4.85*	3.95*	22.39**
過マンガン酸カリウム消費量	2.19	6.15**	29.98**
鉄	1.65	0.64	15.22**
マンガン	1.98	1.28	12.78**
フッ素	0.42	0.26	8.06**
硬度	1.78	3.26*	8.48**
蒸発残留物	2.18	5.25*	21.06**
pH値	0.69	3.25*	12.40**
色度	1.06	1.77	66.60**
濁度	1.22	0.66	47.65**

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$

められた塩素イオン等5項目については、県全体としてもやはり5%または1%の危険率で有意差が認められ、さらに硝酸性および亜硝酸性窒素が5%の危険率で有意差が認められた。年度間で有意差が認められたのは塩素イオンのみで、県全体としての平均値は、図4に示す様に、この5年間で上昇傾向にあることがわかった。硝酸性および亜硝酸性窒素については、他の項目においてブロック間の差が有意に認められるのに対し、有意差が認められなかった。このことは窒素肥料が香川県全体としては、ほぼ一定の割合で施用されており⁵⁾、窒素負荷が何らかの経路で地下浸透し、地下水の硝酸性窒素の供給源となり、有意な差が認められなかったと考えられる。

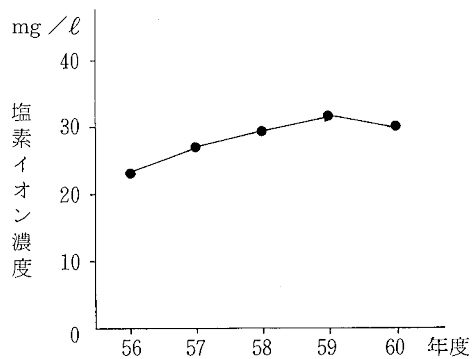


図4. 浅井戸水源における塩素イオン濃度の経年変化

次に、有意差が認められた塩素イオン等の5項目について、各ブロックごとに各季節の平均値をとり変動の傾向を調べたところ、DブロックとEブロックでこれら5項目の濃度が対応して変化する傾向がみられた。それらを図5、6に示す。Dブロックは、金倉川下流域に近接する5か所の浅井戸であり、Eブロックは、財田川中流から下流域にかけて位置する10か所の浅井戸である。このことは、地下水脈がほぼ河川に沿って流下することを考えると、これらの水源の間で一定の傾向がみられるのかもしれない。

浄水については、表2～12より、いくつかのブロックで有意差が認められるものの、全ブロックで有意差が認められる水質項目はなかった。そこで59か所の浄水の中から、各水源の水を浄水処理して直接採取した浄水のみ

を取り上げ水源別に分散分析を行った。その結果を表14に示す。表14より、地表水において凝集沈殿・急速ろ過等の浄水処理によって効率良く除去される有機物、鉄、マンガン、色度、濁度については有意な差は認められなかった。また塩素イオン、フッ素、蒸発残留物、pH値についても有意な差は認められなかった。しかし浅井戸水源については、表13の原水と同様に、硝酸性および亜硝酸性窒素、塩素イオン、過マンガン酸カリウム消費量、硬度、蒸発残留物で季節変動に有意な差が認められた。このことは、浅井戸は有機物、鉄、マンガン等に対する水質が良いために、ほとんど処理をせず（塩素滅菌のみが多い）、浄水として送り出されているためと考えられる。

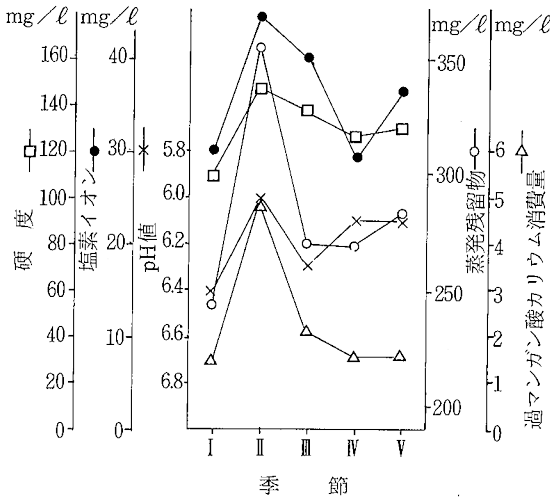


図5. Dブロックにおける水質5項目の季節変動

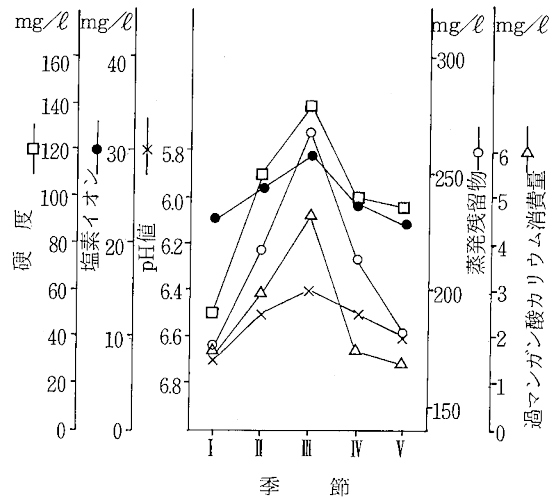


図6. Eブロックにおける水質5項目の季節変動

表14. 水道浄水における水源別の分散比

各水質項目の分散比	貯水池・ダム	河川表流水	河川伏流水	浅井戸	深井戸
F(硝酸性および亜硝酸性窒素)	3.93*	1.07	3.32*	4.44**	1.22
F(塩素イオン)	0.79	1.16	2.63	5.20**	2.94
F(過マンガン酸カリウム消費量)	0.59	0.81	2.39	3.96**	2.13
F(鉄)	1.78	1.45	2.39	1.56	1.47
F(マンガン)	1.00	1.00	0.84	2.25	1.00
F(フッ素)	0.92	1.11	0.93	0.26	4.84*
F(硬度)	4.33*	1.46	3.99*	5.93**	1.76
F(蒸発残留物)	0.10	0.84	1.97	9.67**	1.97
F(pH値)	0.06	0.55	1.49	1.52	0.78
F(色度)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
F(濁度)	1.14	1.00	1.82	1.02	0.59

*: P < 0.05, **: P < 0.01

Ⅳ 結 論

昭和56年度から60年度までの5年間に検査した水道原水94か所および水道浄水59か所について水質の季節変動に対する解析を試みた。

1. 1年間を降水量と気温により5季に分けて地域ブロックごとに水質の変動を分散分析法により統計的に解析した結果、貯水池・ダムおよび河川表流水の地表水については、硝酸性および亜硝酸性窒素およびマンガ、硬度が季節変動において有意差が認められた。また浅井戸水源では、塩素イオン、過マンガン酸カリウム消費量、硬度、蒸発残留物および pH 値に季節変動における有意差が認められた。
2. 貯水池・ダムおよび河川表流水の地表水の硝酸性および亜硝酸性窒素については、各ブロックごとに5季節各々の平均値をとってみると、春季に濃度が高く、その後夏・秋季と濃度が減少し、冬季に濃度が再び上昇する傾向を示した。これは、水田・畑地等地表からの排水の影響を直接受けやすい地表水が、水田等の窒素肥料の施肥により窒素濃度の変動をもたらしていることが考えられる。
3. 浅井戸水源の塩素イオンは、県全体としてみると、年度間によっても有意の変動を示し、その濃度は5年間で上昇傾向にあった。硝酸性および亜硝酸性窒素はブロックごとの平均値が地域ブロック間で有意差が認められず、窒素肥料の施肥による窒素負荷の地下浸透により県全体として地下水の一律な汚染を受けている

ことが考えられた。また浅井戸において季節変動に有意差が認められた塩素イオン、過マンガン酸カリウム消費量、硬度、蒸発残留物、pH 値について各季節ごとの平均値は、5ブロックのうち2ブロックにおいて各々がよく対応して濃度変化していた。これら2ブロックの浅井戸は、1河川の流域沿いに位置することがわかった。

今回、水道水源の水質の季節変動という観点から分散分析法を用いて考察したが、今後測定回数を増やす、地域ブロック区分を再編成する等の点を考慮しながら、多量のデータの中から有意な関係を見出ししていきたいと考えている。

文 献

- 1) (財)日本気象協会高松支部：香川県気象暦，1981.
- 2) 田淵俊雄，高村義親：集水域からの窒素・リンの流出，東京大学出版会，1985.
- 3) 杉戸大作：地下水汚染対策の考え方，第4回日本水質汚濁研究協会セミナー講演資料集，55，(社)日本水質汚濁研究協会，1984.
- 4) 北野康：水の科学，日本放送出版協会，1969.
- 5) 小島俊男，他：水道水源地下水の硝酸性窒素濃度の動向，四国公衛誌，31(1)，5～10，1986.
- 6) 石川馨，他：化学者および化学技術者のための実験計画法(上)(下)，東京化学同人，1967.
- 7) 森口繁一：統計的方法，日本規格協会，1976.
- 8) 高桑純：香川の自然と災害，179～226，瀬戸内出版，1976.