沖縄県における飲料水水質とその死因別 死亡率との関連

遠山 英一*

Drinking Water Quality and its Relationship with the Mortality Rate in Okinawa Prefecture

Eiichi TOHYAMA*

The objectives of this study were to analyze the correlations between mortality rates and drinking water quality in Okinawa prefecture, where the environmental conditions such as the weather, dietary habits and way of living, etc. exist within the same aspect. The qualities of 75 stream waters and 20 municipal drinking waters, the relationships between 15 component concentrations in drinking waters and 14 mortalities in female, 12 ones in male and 12 ones in both sexes were investigated for Okinawa prefecture.

The main findings were as follows:

1. Comparing the average concentrations of the stream waters in various areas, the concentration of dissolved solids was found to be higher for Okinawa prefecture than these for other prefectures of Japan and the world, and in Okinawa prefecture that of dissolved solids was found to be much higher for its calcareous area than for its non-calcareous area. The same trends in drinking waters as the stream waters were shown, because the concentrations of drinking waters depended principally on the features of their sources.

2. Positive correlations were found between death rate from ischemic heart disease in female and concentrations of ABS , PO_4 and SO_4 with respective correlation coefficient $r=0.706$ ($p<0.001$), 0.590 ($p<0.01$) and 0.549 ($p<0.05$).

3. Plotting the scores obtained by principal component analysis in which four variables were the mortality from ischemic heart disease in female and the concentrations of ABS , PO_4 and SO_4 , the lowest mortalities clustered on the 3rd quadrant and the highest ones on the 1st quadrant. All of 4 drinking water sources of municipalities which had worst 4 mortalities were located in the calcareous area of the central part of Okinawa mainland.

4. A multiple regression analysis, where the mortality (Y) from ischemic heart

* 琉球大学医学部医学科保健医学講座

* *Department of Preventive Medicine, School of Medicine, University of the Ryukyus*

disease was employed as criterion variable and the concentrations (X_1 , X_2 and X_3) of ABS , PO_4 and SO_4 as explanatory variables, was conducted to estimate the mortality from the concentration variable of drinking water. As a result of the multiple regression analysis, the following equation was introduced.

$$Y = 17.9 + 45.3X_1 - 14.3X_2 - 0.04X_3$$

By F-test, high statistical significances were shown for the equation and the regression coefficient of ABS concentration at critical rates of respective 1% and 5%.

5. Uterine cancer mortality correlated positively with F concentration in drinking water ($r=0.633$, $p<0.001$)

6. Mortality from liver cancer in both sexes related positively to $\text{NO}_3\text{-N}$ + $\text{NO}_2\text{-N}$ concentration ($r=0.601$, $p<0.01$) and negatively to SiO_2 and K concentrations ($r=-0.520$, $p<0.05$ and $r=-0.516$, $p<0.05$) in drinking water.

Key words : Okinawa prefecture, drinking water quality, mortality rate, Pearson's correlation analysis, multivariate analysis

沖縄県, 飲料水水質, 死因別死亡率, 単相関分析, 多変量解析

I はじめに

飲料水の水質と人間の健康に関する研究は、小林 (1957) が河川水中の化学成分濃度 ($\text{SO}_4/\text{CaCO}_3$) と脳血管障害死亡率との関係を発表して以来、多くの国の研究者 (Schroeder, 1960; Morris, et al., 1961; Strickland et al., 1968; Masironi, 1969; Sonneborn et al., 1981.) によって飲料水の無機成分と各種疾病死亡率との関連が報告されている。そして、近年、心血管系疾患および脳血管障害死亡率は、水質が軟水である地域に高く、硬水である地域には低いという報告 (Borck et al., 1965; Neri et al., 1971; Schroeder, 1974; 仲村ら, 1988; 柳橋ら, 1989) が比較的多く見られる。しかし、一方これを否定した報告 (Lindeman et al., 1964; Elwood, 1971) も幾つかある。水道原水の水質と癌死亡率 (笹野, 1986), トリハロメタンと泌尿器癌 (Cech et al., 1987; Flaten, 1992) 等の関係も報告されている。

沖縄県は、ほぼ北緯26°, 東経127°を中心として南北400km, 東西1,000kmの範囲に点在する150余の島々からなっていて (Fig. 1), 亜熱帯性、海

洋性、島しょ性を有し、自然環境において日本本土とはかなり異なる。気候、文化、食習慣、生活様式等にほぼ共通性のある沖縄県内でも、地質、土壌、人口密度・開発度・軍事基地の面積比率などにおいて県内各所で様々な相違点があり、各市町村へ供給されている飲料水の水質にも地域的な特徴が見られる。また、沖縄の水道管理形態も過去の行政の変遷によって部分的に米国統治の影響 (水道水のフッ化ナトリウムおよびメタリン酸ソーダの注入等) を受けて来た。以上の観点から、沖縄県において飲料水水質の健康影響に関する研究を行うことは、調査対象として適切性が高く、地理疫学的にみて意義が大きいと考えられる。

本研究では、沖縄県における飲料水の成分濃度と各種疾病死亡率について相関分析を行い、さらに虚血性心疾患死亡率とその関連水質因子について多変量解析を試みたので、その結果を報告する。

II 資料と方法

沖縄県の全53市町村のうち、20市町村 { 那覇市、沖縄市、宜野湾市、浦添市、糸満市、具志川市、石川市、名護市、金武町、嘉手納町、北谷町、西

Fig. 1 Location of Okinawa prefecture and its geological features.

(Drinking water type: Calcareous-Itoman, Kochinda, Urasoe, Chatan, Ginowan, Okinawa, Kadena, Gushikawa, Katsuren, Hirara. Non-calcareous-Sashiki, Naha, Haeburu, Yonabaru, Nishihara, Ishikawa, Motobu, Nago, Ishigaki)

原町、与那原町、佐敷町、南風原町、東風平町、本部町、勝連町(以上沖縄本島)、平良市(宮古島)、石垣市(石垣島)を対象とした。飲料水の水質成分濃度は、昭和43年(1968)から同55年(1980)までの13年間に亘る水質データ(遠山, 1968~1988), 但しトリハロメタンは3年間の水質データ(1978, 1979, 1980)を平均したものである。測定した水質は、硝酸性窒素+亜硝酸性窒素($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$), 塩化物イオン(Cl), 有機物等(COD), 一般細菌, 大腸菌群, シアン, 水銀, 有機リン, 銅, 鉄, マンガン, 亜鉛, 鉛, 六価クロム, カドミウム, ヒ素, フッ素(F), 硬度(HARD.), 蒸発残留物(D. SOLID), フェノール類, 陰イオン界面活性剤(ABS=アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム), pH値(pH), 臭気, 味, 色度,

濁度, トリハロメタン(THM), カルシウム(Ca), マグネシウム(Mg), ナトリウム(Na), カリウム(K), 硫酸イオン(SO_4), 重炭酸イオン(HCO_3), シリカ(SiO_2), リン酸イオン(PO_4)の35項目であった。測定分析方法はStandard Method for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA & WPCF, 1965)と日本工業規格 K0101 (JIS, 1967)に準拠した。

年齢調整死亡率(訂正死亡率)において基準となる全国死亡数は、厚生省大臣官房統計情報部(1983)の昭和55年度特定死因死亡数, また全国人口は昭和55年国勢調査の性別人口を用いた。沖縄県内市町別の死亡数は、厚生省死亡統計の昭和48年から同60年までの13年間を平均し, 死因は死亡数の資料が特定死因でまとめられているものであ

り、その死因を対象とした。市町の5歳年齢階級別人口は沖縄県統計年鑑(1981)を用い、死亡数と対応する13年間を平均した。

水質成分濃度と死因別死亡率のPearson積率(岸根, 1981)による単相関分析では、前記35水質項目のうち、不検出、定量下限以下、異常無し(項目を除いた15成分($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$, Cl, COD, F, HARD., ABS, THM, Ca, Mg, Na, K, SO_4 , HCO_3 , SiO_2 , PO_4)の濃度と、女性14死亡率(総死亡, 全がん B19, 食道がん B19b, 胃がん B19a, 肝臓がん B19c, 肝がん B19e, 白血病 B19h, 心疾患 B26 B28 B29, 虚血性心疾患 B28, 高血圧性疾患 B27, 高血圧性心疾患 B27a, 脳血管疾患 B30, 乳がん B19f, 子宮がん B19g—死因名は第9回分類による), 男性12死亡率(女性死因死亡率から乳がんと子宮がんを除く), および男女両性12

死亡率(男性死因と同じ)との相関係数を求めた。

今回用いた基本統計量の計算には、PC-SAS (Statistical Analysis System) プログラム (SAS 出版局, 1989; SAS ソフトウェア, 1990; 二宮, 1988), 重回帰分析及び主成分分析には、パソコン統計解析ハンドブック II. 多変量解析編(柳井ら, 1986; 田中ら, 1984) のプログラムを使用した。

III 結 果

1. 河川水の平均成分濃度およびその組成

沖縄県の75河川と石灰質(沖縄での呼称: 島尻マージ)地域18河川, 非石灰質(沖縄での呼称: 国頭マージ)地域48河川の主要成分濃度を平均し, その組成を求めて, 沖縄と日本(小林, 1961), 世界 (Livingstone, 1963) における河川の平均水質を Table 1 に示した。その結果によると, 濃度及

Table 1 Average concentrations (mg/l) and compositions (%) of components in river waters of Okinawa Islands (including calcareous & non-calcareous areas), Japan and the world

Component	Area	World*	Japan**	Okinawa	Non-Calcareous	Calcareous
Ca	mg/l	15.0	8.8	35.4	7.3	99.8
	%	12.52	10.19	13.97	6.56	16.85
Mg	mg/l	4.1	1.9	6.1	3.3	12.9
	%	3.42	2.20	2.41	2.97	2.18
Na	mg/l	6.3	6.7	25.2	17.9	43.9
	%	5.26	7.75	9.94	16.10	7.41
K	mg/l	2.3	1.2	2.2	0.8	5.4
	%	1.92	1.39	0.87	0.72	0.91
HCO_3	mg/l	58.4	31.0	112	32.0	301
	%	48.75	35.88	44.20	28.78	50.81
SO_4	mg/l	11.2	10.6	23.4	8.1	62.8
	%	9.35	12.27	9.23	7.28	10.60
Cl	mg/l	7.8	5.8	33.4	25.9	51.8
	%	6.51	6.71	13.18	23.29	8.74
NO_3	mg/l	0.9	1.2	1.6	0.2	4.1
	%	0.75	1.39	0.63	0.18	0.69
SiO_2	mg/l	13.1	19.0	13.6	15.2	10.1
	%	10.93	21.99	5.37	13.67	1.70
Fe	mg/l	0.7	0.2	0.5	0.5	0.6
	%	0.58	0.23	0.20	0.45	0.10
Dissolved solids	mg/l	119.8	86.4	253.4	111.2	592.4
	%	100	100	100	100	100

* : figured by Livingstone, DA (1963) ; ** : by Kobayashi, J (1961)

び組成において世界の平均水質では HCO_3 , Ca 等が高く、日本の平均水質では SiO_2 が高い。沖縄の平均水質を世界および日本の平均水質と比較すると、濃度においては特に Cl, Na, SO_4 が高く、組成では Cl が高く、 SiO_2 が低くなっている。

2. 飲料水の水質

沖縄県下の20市町における昭和43年から同55年までの飲料水の35成分濃度について、最小値、最大値、平均値および標準偏差を算出し、そのうち平均値がゼロの項目を除いた15成分を Table 1 に示した。それによって平均的な飲料水水質とそのばらつきが表現される。また、飲料水水源は大

Table 2 The arithmetic mean concentrations of 15 drinking water components in 20 cities and towns

Component	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev.
NO_3NO_2 (mg/l)	0.05	8.12	2.37	2.32
Cl (mg/l)	23.0	85.9	40.4	10.1
COD (mg/l)	0.48	4.50	2.63	0.76
F (mg/l)	0.01	0.90	0.26	0.33
HARD. (mg/l)	21.2	290.0	173.5	79.8
ABS (mg/l)	0.00	1.00	0.17	0.22
THM (mg/l)	0.000	0.052	0.035	0.014
Ca (mg/l)	4.9	107.2	60.7	30.6
Mg (mg/l)	2.3	10.9	5.2	1.8
Na (mg/l)	13.5	47.8	29.7	5.8
K (mg/l)	0.6	4.3	2.2	0.8
SO_4 (mg/l)	8.0	47.5	22.8	7.7
HCO_3 (mg/l)	24.4	305.5	185.4	89.1
SiO_2 (mg/l)	5.2	20.1	11.5	2.6
PO_4 (mg/l)	0.01	1.27	0.23	0.32
D. SOLIDS (mg/l)	82.3	476.0	267.8	92.0

Table 3 Comparison of drinking water concentration (mg/l) in calcareous area with that of non-calcareous area

Component	Non-calcar. (9C. & TS.)	Calcareous (11C. & TS.)	Mean (20C. & TS.)	T-test (N. & C.)
NO_3NO_2	0.68	3.57	2.37	$p < 0.0001$
Cl	35.2	44.2	40.4	$p < 0.0001$
COD	2.53	2.70	2.63	$p < 0.153$
F	0.24	0.28	0.26	$p < 0.403$
HARD.	94.0	230.2	173.5	$p < 0.0001$
ABS	0.06	0.26	0.17	$p < 0.0001$
THM	0.031	0.047	0.035	$p < 0.364$
Ca	30.0	82.5	60.7	$p < 0.0001$
Mg	4.4	5.7	5.2	$p < 0.0001$
Na	27.7	31.1	29.7	$p < 0.001$
K	2.4	1.9	2.2	$p < 0.01$
SO_4	16.7	27.1	22.8	$p < 0.0001$
HCO_3	98.6	247.3	185.4	$p < 0.0001$
SiO_2	13.8	9.9	11.5	$p < 0.0001$
PO_4	0.08	0.34	0.23	$p < 0.0001$
D. SOLIDS	179.2	331.0	267.8	$p < 0.0001$

Fig. 2 Plotting of the 1st and 2nd principal component scores of 15 constituents in 20 municipal drinking waters

Table 4 Correlation coefficients of mortalities with water quality constituents in 20 cities and towns

Sex	Mortality			
		Ischemic heart disease	Uterine cancer	Liver cancer
Female		ABS, PO_4 , SO_4 0.706***, 0.590*, 0.549*	F 0.633***	
Male				
Both sexes			NO_3+NO_2 , SiO_2 , K 0.601**, -0.520*, -0.516*	

***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$

別して石灰質地域と非石灰質地域に位置しているが、前者に属する沖縄市、宜野湾市、具志川市、嘉手納町、北谷町等と、後者に属する石川市、石垣市、西原町、与那原町、南風原町、佐敷町等における飲料水の成分濃度について平均したのが Table 3 である。Table 3 において、 SiO_2 、K は非石灰質地域が高く、その他13成分については石灰質地域が高い。

なお、水質成分15項目についての主成分分析を

行い、その第1主成分と第2主成分の得点（累積寄与率87.4%）を座標上にプロットした（Fig. 2）。佐敷、与那原、南風原、西原（グループ1）、石川、本部、那覇（グループ2）、金武、勝連、具志川、嘉手納、北谷（グループ3）、宜野湾、沖縄、浦添、平良、糸満、名護（グループ4）が群を形成し、石垣と東風平はそれらの4群から離れて位置した。

3. 水質成分濃度と死因別死亡率の分析

Fig. 3 Scatter diagram between ABS concentration and corrected death rate from ischemic heart disease (I.H.D.) in female.

Table 5 Correlation coefficients ($0.05 < p < 0.10$) of mortalities with drinking water quality constituents in 20 cities and towns

Sex	Mortality	Heart disease	Ischemic heart disease	Hypertensive heart disease	Cerebrovascular disease	Hypertensive disease
Female			Cl 0.421		Ca -0.384	$\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$ -0.398
Male			THM 0.441		K -0.407	
Both sexes		HCO_3^- , HARD -0.408, -0.384	ABS, PO_4 , SO_4 0.551, 0.464, 0.403	$\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$ -0.408	Na -0.454	
Esophagus cancer	Gastric cancer	Leukemia	Liver cancer	Lung cancer		
	K 0.390			Cl -0.405		
	Cl -0.403					
	K -0.396	Cl, Na, K 0.429, 0.467, 0.446	COD -0.440

Fig. 4 Scatter diagram between PO_4 concentration and corrected death rate from ischemic heart disease (I.H.D.) in female.

Fig. 5 Scatter diagram between F concentration and mortality from uterine cancer (U.C.).

Fig. 6 Scatter diagram between $\text{NO}_3\text{-N}+\text{NO}_2\text{-N}$ concentration and corrected death rate from liver canaer (L.C).

20市町における飲料水の16成分濃度と女性14疾病, 男性12疾病, 男女12疾病の死因別死亡率との単相関分析を行った。その相関係数の中から, 確率値(p値)が0.05未満のものを取り出して Table 4 に, また, それらの散布図を Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6 に示した。なお, 確率値が $0.05 < p < 0.10$ のものを Table 5 に示した。Table 4 によると, 女性では, 虚血性心疾患死亡率と, 陰イオン界面活性剤, リン酸イオン, 硫酸イオンの3水質成分濃度との間に, それぞれ相関係数0.706, 0.590, 0.549の有意な正の相関があり, また子宮がん死亡率とフッ素濃度間に有意な正の相関($r=0.633$)が見られた。男女の肝臓がん総死亡率と, 硝酸性窒素+亜硝酸性窒素, 二酸化ケイ素, カリウムの3

水質成分濃度との間に, それぞれ相関係数0.601, -0.520 , -0.516 の有意な正負の相関があった。

4. 虚血性心疾患死亡率と関連する各水質成分濃度の分析

虚血性心疾患死亡率に関連する陰イオン界面活性剤濃度, リン酸イオン濃度, 硫酸イオン濃度の3変数からなる相関行列を Table 6 に示した。それによると, ABS-PO_4 , ABS-SO_4 , $\text{PO}_4\cdot\text{SO}_4$ の各成分濃度間には, それぞれ相関係数0.933, 0.864, 0.889の有意な正の相関が見られた。

5. 虚血性心疾患死亡率と ABS , PO_4 , SO_4 の主成分分析

20町村の4つの変量を要約する総合的な指標

Table 6 Matrix of correlation coefficients of 3 variables of water constituents in 20 cities and towns

	ABS	PO ₄	SO ₄
ABS	1.000		
PO ₄	0.933***	1.000	
SO ₄	0.864***	0.899***	1.000

***: $p < 0.001$

(主成分)を導き出すため、主成分分析を行った。その相関行列の固有値と固有ベクトルは Table 7 の通りである。第1主成分の固有値は、3.27、寄与率は82%と大きい。第2主成分の固有値は0.53で1より小さく、寄与率は13%である。

また、20市町についての主成分得点を算出し、その第1、第2主成分の得点を、それぞれ x 軸、y 軸座標上にプロットしたのが Fig. 7 である。第1象限には北谷町、嘉手納町、沖縄市、具市川市の2町2市、第2象限には西原町、与那原町、本部町、南風原町、石垣市、名護市、那覇市の4町3市、第3象限には金武町、佐敷町、東風平町、石川市、平良市の3町2市、第4象限には勝連町、

Table 7 Eigenvalues and eigenvectors of the correlation matrix

	Component (Female)			
	1st.	2nd.	3rd.	4th.
X (1)	0.421	0.883	0.144	-0.151
X (2)	0.535	-0.059	-0.474	0.697
X (3)	0.524	-0.305	-0.389	-0.693
X (4)	0.511	-0.353	0.777	0.106
Eigenvalue	3.271	0.533	0.131	0.065
Propo.	0.818	0.133	0.033	0.016
Gum. propo.	0.818	0.951	0.984	1.000

Remarks

X (1) : Mortality of ischemic heart disease

X (2) : ABC concentration

X (3) : PO₄ concentrationX (4) : SO₄ concentration

Propo. : Contribution rate.

Cum. propo. : Cumulative contribution rate

宜野湾市、浦添市、糸満市の1町3市がそれぞれ位置している。

6. 虚血性心疾患死亡率と ABS, PO₄, SO₄の重回帰分析

水質因子が疾患に影響しているかどうかを知るため、虚血性心疾患死亡率(Y)を目的変数、陰イ

Fig. 7 Plotting of the 1st and 2nd principal component scores (X: 1st.C., Y: 2nd.C.) in 20 cities and towns.

オン界面活性剤 (ABS), リン酸イオン (PO_4), 硫酸イオン (SO_4) の濃度 (それぞれ X_1 , X_2 , X_3) を説明変数として, 重回帰分析を行った. 重相関係数は0.712, 決定係数 (寄与率) は0.506, 分散分析における F 値 (分散比) は5.47であった. また, 重回帰モデルにおける ABS 濃度の回帰係数, 標準回帰係数, F 値は, それぞれ45.3, 1.07, 5.36で, PO_4 濃度の回帰係数, 標準回帰係数, F 値は, それぞれ-14.3, -0.371, 0.523であり, SO_4 濃度の回帰係数, 標準回帰係数, F 値はそれぞれ-0.044, 0.043, 0.012であった. 定数項は17.9で, 重回帰式は

$$Y = 17.9 + 45.3X_1 - 14.3X_2 - 0.04X_3$$

となるが, F 検定により上式は有意水準1%で, また陰イオンと界面活性剤の回帰係数は有意水準5%で, それぞれ有意であった.

IV 考 察

沖縄と日本, 世界における河川水の平均水質を比較すると, 世界では石灰岩類が多いため Ca , HCO_3 (Livingstone, 1963) が, 日本では火山性の地質・土壌の影響で SiO_2 (小林, 1961) が共に高く, また沖縄は島が小さく海水の影響を直接的に受け, 特に Cl , Na , SO_4 が高くなっている (遠山, 1975; 遠山1989). 平均溶存物質質量でみると, 世界119.8mg/l, 日本86.4mg/l, 沖縄253.4mg/l となっており, さらに沖縄を非石灰質地域と石灰質地域とに大別して考えると, 前者が111.2mg/l, 後者が592.2mg/l で, 石灰質地域の溶存物質質量は著しく高い (Table 1). 昭和50年における沖縄の水道普及率は95.1%で, Table 2 は20市町における平均水質とその分布, Table 3 は石灰質 (島尻マージ) 地域と非石灰質 (国頭マージ) 地域の飲料水水質の差異を示している. また, Fig. 2 によって飲料水の水質特性が表され, 群を成すものは互いに類似し, グループ3, グループ4 および東風平町は座標原点から遠く, グループ1, グループ2 および石垣市は近い. すなわち, 前者は溶存物質質量が高く, 後者は低い. 飲料水の水質は, その水源の水質に大きく依存するので (遠山, 1981

a; 遠山, 1981b), 飲料水の水質もまた河川水のそれと同様な傾向を示している (Table 2, Table 3). 沖縄においてマージ (真地) とは, 赤色系の土壌を意味し, 国頭マージは国頭地域に広く分布する千枚岩, 粘板岩や国頭礫層を母材とする酸性の土壌で, 島尻マージは琉球石灰岩と古期の石灰岩が風化したもので, 中性ないし弱アルカリ性の土壌である (木崎, 1984). 沖縄では国頭および島尻マージのような赤色系土壌がその大部分を占めるが, それは高温多湿 (年平均気温22.5°C, 年平均降雨量2,300mm: 沖縄気象台資料-1951~1980-から算出) な気候の下で, 岩石や土砂の風化分解が激しく進み, 溶脱し易いナトリウム, カリウム (アルカリ金属元素) やカルシウム, マグネシウム (アルカリ土類金属元素) 等がはやく溶け出して表流水や地下水に入り, 後に鉄分が残る. 特に, 島尻マージ地域の河川水に溶存物質質量が多いのはそこにおける岩石土壌からのイオン, または化学種の溶脱速度が大きいことを意味する (遠山, 1983; Tohyama, 1982). このような自然条件の下で, 沖縄では島尻マージ地域に水道水源を持つ住民が国頭マージ地域のそれよりも, また沖縄は日本本土よりも, 飲料水から平均して多くの鉱物質を摂取していることになる.

沖縄の日本復帰 (1972年5月15日) 以前は水道管理も大部分米軍の手に委ねられ, 水道水の処理方法も日本のそれと異なり, アメリカ式が採用されていた. すなわち, むし菌予防のためにフッ素 (フッ化ナトリウム), 水道管のスケール防止のためにリン塩酸 (メタリン酸ソーダ) が注入されていたが, 1972年以降はそれらの注入も打ち切られた. 島尻マージ地域の原水は硬度が非常に高く, 浄水工程でリン酸塩が添加されて PO_4 が高くなり, 一方国頭マージ地域の原水は軟水でその必要がなく, PO_4 が低い. 沖縄本島中南部の島尻マージ地域は, 軍地基地の集中, 人口の過密, 開発の進行等で人間活動の影響が激しく, 水源の汚染度も高い (Tohyama, 1984; 遠山, 1985).

水質成分濃度 (1968~1980) と死因別死亡率

(1973~1985)との単相関分析において、特に有意な相関関係が見られたのは虚血性心疾患、子宮がん、肝臓がんの3疾病であった。

ABSの急性および慢性毒性試験(池田ら, 1962; Oser, 1965; 千葉, 1972)などの一般毒性和アレルギー性(Oser, 1965), 催奇形性(Buehler et al., 1970), 発がん性(千葉, 1972; Buehler et al., 1970)などの特殊毒性については, 国内外において多くの毒物学的検討がなされている。池田ら(1962)によれば, ABSのマウスに対する急性毒性試験で, 経口投与による LD_{50} は雄2.15g/kg, 雌2.38g/kgであり, 慢性毒性試験(15例)では, 体重が減少して12~21週間に10例が死亡, 5例は86日目と102日目に解剖し, 病理組織学的検索を行った結果, 腎臓, 胃, 心筋繊維などに軽度の変化が認められたと報告している。また, 女性の結腸癌粗死亡率が水道水へのフッ素添加によって増加していることを示唆する報告(Nelson, 1987)もあり, さらにSu(1979)は中国上海近辺の啓東等4県で肝臓がんと環境因子との関連について調査を行ったところ, 堀割りの腐敗したような水を飲んでいた地域の住民が, 深井戸の清浄な水を飲用するようになって数年後, 肝がん発生が著しく減少したという報告もある。

なお, Table 5は, 20市町における飲料水中のABS, PO_4 , SO_4 成分間の相関行列であり, いずれの相関関係も0.864以上, 有意水準0.001でかなり強い正の相関を示したが, この理由としてABSの製造原料がアルキルベンゼン, 濃硫酸および苛性ソーダで, 合成洗剤の主成分であるアルキルベンゼンスルホン酸と助剤のトリポリリン酸ナトリウムの分解過程で PO_4 および SO_4 が生ずるものと考えられる(井下田, 1982; 遠山, 1985)。

虚血性心疾患死亡率と陰イオン界面活性剤, リン酸イオンおよび硫酸イオン濃度の4変量についての主成分分析結果(Table 7)において, 第1主成分と第2主成分の寄与率を合計すると95%にも達し, 変量のばらつきの大部分を説明することができる。また, 第1主成分と第2主成分の得点を座標上にプロットしたFig. 6を見ると, 第1象限

に分布している北谷町, 嘉手納町, 沖縄市, 具志川市は, 虚血性心疾患死亡率の最も高い4位までのグループであり, 逆に第3象限にはその死亡率の最も低い4位までの石川市, 平良市, 金武町, 佐敷町が集まっている。x軸(第1主成分)の正側(第1, 第4象限)に位置している8市町は, 石灰質(島尻マージ)地域に飲料用水源を持ち, その地域は島尻層群からの硫酸イオン, リン酸イオンやその他の溶存物質の濃度が高い(遠山, 1983; Tohyama, 1984)。一方, y軸(第2主成分)の負側(第2, 第3象限)には虚血性心疾患死亡率の低い9市町が位置している。このようなことから第1主成分が水質因子, 第2主成分が死亡率に関する指標であると考えられる。ここで注目したいのは, 第1象限に集まっている虚血性心疾患死亡率の最も高い北谷町(1位), 嘉手納町(2位), 沖縄市(3位), 具志川市(4位)の飲料用水源が, 沖縄本島中部の石灰質地域にあるということである。その地域は自然環境からの硫酸イオン, リン酸イオンの溶脱も高く, 市街地や軍用基地からの陰イオン界面活性剤, リン酸イオン, 硫酸イオン等の人間活動による水源の汚染も進行している(遠山, 1993; Tohyama, 1984)。

市町村別の水質因子と虚血性心疾患死亡率の単相関分析の結果から, 相関係数の大きい陰イオン界面活性剤($r=0.706$), リン酸イオン($r=0.590$), 硫酸イオン($r=0.549$)の3因子を選択して説明変数とし, それらが要因となって虚血性心疾患死亡にどれだけ影響しているかを検討するため死亡率を目的変数として, 重回帰分析を行った。それによると, 重回帰係数0.712, 寄与率0.506, 分散分析のF値は5.47で, 有意水準0.01においてこの重回帰式は有意であった。各説明変数の標準回帰係数は陰イオン界面活性剤で1.07, リン酸イオンで-0.37, 硫酸イオンで-0.043となっており, その重回帰式において陰イオン界面活性剤の影響が最も大きいことが見出された。また, 説明変数のF検定により陰イオン界面活性剤の分散比は5.36で, 有意水準0.05においてその回帰だけが有意であった。よって, 説明変数として用いた3水

質成分の中で、陰イオン界面活性剤は、女性における虚血性心疾患死亡に対して比較的強い危険因子であると考えられる。

なお、Fig. 4の散布図においてリン酸イオン濃度の高い北谷町、嘉手納町、沖縄市、宜野湾市等の虚血性心疾患死亡率はいずれも高く、また、フッ素濃度と子宮がん死亡率との相関係数は0.633 (Table 4)で、フッ素濃度の高い勝連町、佐敷町、金武町、北谷町、与那原町、嘉手納町、宜野湾市の子宮がん死亡率はすべて高く (Fig. 5)、それらは水道水へのメタリン酸ソーダ、フッ化ナトリウムの添加がそれぞれ虚血性心疾患及び子宮がん死亡率に影響したことを示唆するものである。それらのことについては、次の機会に詳しく検討したい。

結 論

沖縄県内における飲料水水質の健康影響を解析する目的で、河川の水質、20市町の飲料水水質、その15成分濃度と各種疾病（女性14、男性12、両性12）死亡率の関係等を、単相関分析、多変量解析を用いて検討した。

1. 各地における河川水の平均的水質を比較すると、沖縄県は日本および世界の平均水質よりも、また沖縄県内では石灰質（島尻マージ）地域が非石灰質（国頭マージ）地域よりも、溶存物質が高かった。飲料水の水質にも同様な傾向が見られた。

2. 女性の虚血性心疾患死亡率は飲料水中の陰イオン界面活性剤、リン酸イオンおよび硫酸イオン濃度との間に、それぞれ相関係数 $r=0.706$ ($p<0.001$)、 0.590 ($p<0.05$)、 0.549 ($p<0.05$) の正の相関が見られた。

3. 女性の虚血性心疾患死亡率と陰イオン界面活性剤、リン酸イオン及び硫酸イオン濃度の4変量について主成分分析を行った結果、第1象限は死亡率の高い4市町によって占められた。これらの市町の飲料水源はすべて沖縄本島中部の石灰質地域にあった。

4. 女性の虚血性心疾患死亡率を目的変数、陰イ

オン界面活性剤、リン酸イオンおよび硫酸イオンの濃度を説明変数として重回帰分析により死亡率を水質因子で予測してみると、その重回帰モデル式は有意水準1%で、有意であった。

5. 子宮がん死亡率と飲料水中のフッ素濃度間には正の相関 ($r=0.633$, $p<0.001$) が見られた。

6. 男女の肝臓がん総死亡率と硝酸性窒素および亜硝酸性窒素濃度間には、正の相関 ($r=0.601$, $p<0.01$) が認められた。

稿を終えるにあたり、始終、温かいご援助をいただきました琉球大学医学部医学科保健医学講座の有泉誠教授、等々力英美助教授、新城正紀講師に深く感謝致します。また、資料の整理等でご協力下さいました天久美和子技官、その他関係者各位に厚くお礼を申し上げます。

文 献

- Biorck, G., Bostrom, H. & Windstkrom, A. (1965): On the relationship between water hardness and death rate in cardiovascular disease, *Acta Med. Scand.*, 178, 239-252
- Buehler, E.V. et al. (1971): Two-year feeding and reproduction study in rats with linear alkylbenzene sulfonate, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 18, 83-91
- Cech, I., et al. (1987): Health significance of chlorination byproducts in drinking water, *Int. J. Epidemiol. (England)*, 16(2), 198-207
- 千葉昭二 (1972): Linear Alkylbenzene Sulfonateの急性毒性並びに慢性毒性に関する研究, *食衛誌*, 13(6), 509-516
- Elwood, P.C., et al. (1971): Cardiovascular surveys in areas with different water supplies, *Br. Med. J.*, 362-363
- Flaten, T.P. (1992): Chlorination of drinking water and cancer incidence in Norway, *International J. of Epidemiology. Inter. Epidemiol. Association*, 21(1), 4-15
- 池田良雄, 他. (1962): 中性洗剤 (ABS) の薬理学的研究, *食衛誌*, 3, 399-400
- 井下田猛 (1982): *環境科学論*, 54-63, (東京)
- 木崎甲子郎, 目崎茂和 (1984): *琉球の自然史*, 築地書館 (東京)
- Kobayashi, J. (1957): On geographical relationship between the chemical nature of river water

- and death rate from apoplexy, *Berichte D. Ohara Institute*, 1, 12-21
- 小林 純(1961): 日本の河川の平均水質とその特徴, *農学研究*, 63-106
- 厚生省大臣官房統計情報部(1983): 昭和55年人口動態統計(下巻), 厚生統計協会(東京)
- Lindeman, R.D. & Assenzo, J.R. (1964): Correlation between water hardness and cardiovascular deaths in Oklahoma counties, *Am. J. Public Health*, 54, 1071-1077
- Livingstone, D.A. (1963): *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper*, 440-G, 64
- Masironi, R. (1969) Trace elements and cardiovascular disease, *Bull. Wld. Hlth. Org.*, 40, 305-312
- Morris, J.N., et al. (1961): Hardness of local water supplies and mortality from cardiovascular disease, *Lancet*, I, 860-862
- 仲村 薫, 他(1988): 沖縄県における飲料水の硬度およびケイ酸と脳血管疾患死亡率との関連, *民族衛生*, 54(2), 92-98
- Nelson, R.L. (1987): Dietary minerals and colon carcinogenesis, *Anticancer Research*, 7, 257-270
- Neri, L.C., Hewitte, D. & Mandel, J.S. (1971): Risk of sudden in soft water areas, *Am. J. Epidemiol.*, 94, 101-104
- 二宮正司(1988): 統計分析システム, オーム社(東京)
- 沖縄県(1981): 第25回沖縄県統計年鑑, 昭和56年版, 沖縄県(沖縄)
- Oser, B.L. & Morgareidge, K. (1965): Toxicological studies with branched and linear alkylbenzene sulfonates in rats, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 7, 819-825
- 笹野英雄(1986): 水道原水の水質と癌死亡率に関する研究, *日大医誌*, 45(1), 47-57
- SAS 出版局(1989): SAS ガイドブック, Version 6, SAS 出版局(東京)
- Schroeder, H.A. (1960): Relation between mortality from cardiovascular disease and treated water supplies, *J.A.M.A.*, 172, 1902-1908
- Schroeder, H.A. & Kraemer, L.A. (1974): Cardiovascular mortality, municipal water, and corrosion, *Arch. Environ. Health*, 28, 303-311
- Sonneborn, M. & Mandelkern J. (1981): German studies in health effects of inorganic drinking water constituents, *Sci. Total Environment*, 18, 47-60
- Strickland, J.D.H. & Parsons, T.R. (1968): A practical handbook of seawater analysis, fisheries research board of Canada Bulletin, 167, 65
- Su, D. (1979): Drinking water and liver cancer, An epidemiologic approach to etiology of this disease in china, *China Med. J.*, 92, 748-758
- 田中 豊, 他(1984): パソコン統計解析ハンドブック(II, 多変量解析編), 共立出版(東京)
- 遠山英一(1975): 沖縄本島河川の水質, 水質とその起源, 地球化学討論会講演要旨集, 111
- 遠山英一(1968-1980): 市町村飲料水水質測定値(未発表資料)
- 遠山英一(1981a): 沖縄島の河川水質とその起源(第1報), *工業用水*, 268(1), 13-27
- 遠山英一(1981b): 河川水の地球化学的研究, *工業用水*, 277(10), 7-14
- Tohyama, E. (1982): Limnological studies on fukuji reservoir at Higashison, Okinawa Island, *Jap. J. Limnol.*, 43(4), 246-253
- 遠山英一(1983): 陸水の溶存化学種が指示する岩石風化量, *陸水学雑誌*, 44(3), 173-183
- Tohyama, E. (1984): Particle size distribution, chemical composition and calculation of standard mineralogical composition of suspended sediment transported by a stream in Okinawa Island, *Jap. J. Limnol.*, 45(4), 253-259
- 遠山英一(1985): 沖縄の水とその環境, 90-174, 沖縄理化学研究所(沖縄)
- 遠山英一, 他(1989): 沖縄の飲料水による健康影響, *日本衛生学雑誌*, 44(1), 362
- 辻本雅志, 宮越光昭(1990): PC-SAS, SAS ソフトウェア株式会社(東京)
- 柳井晴夫, 高木廣文(1986): 多変量解析ハンドブック, 現代数学社(京都)
- 柳橋次雄, 他(1989): 鹿児島県における飲料水の成分と循環系の疾患死との関係, *民族衛生*, 55(5), 244-252

(受稿 至急 1994.7.6; 受理 1994.12.9)