

県下の河川・海域底質中の重金属調査結果について

昭和51年度—59年度

門 田 治 幸・堀 内 泰 男
 邑 岡 和 昭・渡 辺 賢 介
 西 山 泰 彦・河 渕 雅 恵*

1. はじめに

高知県では公共用水域の水質測定計画の中で、県下の主要な河川、海域の底質中重金属の調査を行っている。この調査結果からは、重金属が本来地質母材中の成分であることから人為的汚染によるものかあるいは地質等自然的特性に起因するものか直ちに判断することが困難である。そこで、本報では昭和51年度から昭和59年度までの調査結果^{1)~9)}のうち重金属の測定デー

タおよびその濃度分布について、駒井ら¹⁰⁾の方法に従って統計的に極大値(異常値)の棄却検定を行い底質の重金属濃度を評価するためのバックグラウンドレベルの推定を行ったので報告する。

2. 調査方法

2.1. 調査地点

図-1に調査地点を示した。河川では、57河川(12

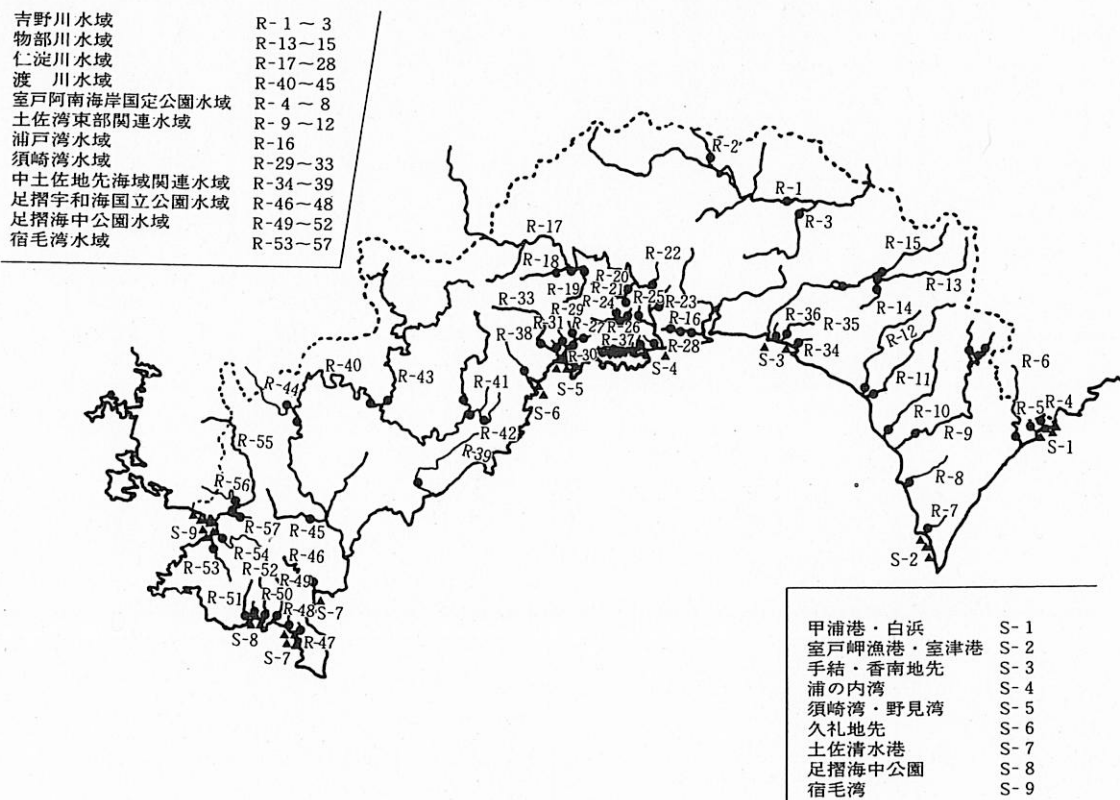


図-1 調査地点

* 中央保健所

水域) 66地点, 海域では, 9 海域38地点, 合計104地点であった。

2.2. 試料

移植ごてやエックマンバージ採泥器等で採取した湿泥を清浄な室内で風乾後 2 mm以下に篩別したものを試料瓶に保存して分析に供した。また, 総クロムの分析には保存試料の一部を(株) 吉田製作所製のポールミル粉碎機で更に粉碎し分析を行った。

2.3. 分析項目および分析方法

分析項目は, 銅 (Cu), 亜鉛 (Zn), カドミウム (Cd), 鉛 (Pb), 総クロム (T-Cr), ひ素 (As), 総水銀 (T-Hg), マンガン (Mn), COD, 硫化物および強熱減量 (lg. loss) の11項目, 分析方法は環境庁水質保全局水質管理課編「底質調査方法」¹⁾に従った。

3. 調査結果および考察

3.1. 重金属の濃度分布

3.1.1. 河川

表-1 に水域別の各金属などの測定結果をまとめて

示した。この表より水域別の平均値では, Cd, Pb, Znが県中央部浦戸湾水域(新川川)で他の水域に比べて高かった。Cu は吉野川水域および浦戸湾水域で, T-Cr は吉野川水域, 仁淀川水域および物部川水域で高く, また, Mn は物部川水域および吉野川水域で高い値を示した。T-Hg は浦戸湾水域が他の水域に比べてやや高い傾向にあった。As の平均値の範囲は, 3.5 ~ 8.9 $\mu\text{g/g}$ であり, 県東部の室戸阿南海岸国定公園水域, 土佐湾東部関連水域および県西部の宿毛湾水域でやや高い値を示したが, 吉野川水域では最も低かった。

水域別の最大値を地点別にみると, Cd, Pb, Zn は浦戸湾水域の新川川の戸原橋で, それぞれ, 2.4 $\mu\text{g/g}$, 87 $\mu\text{g/g}$, 550 $\mu\text{g/g}$ を示した。As, Mn は室戸阿南海岸国定公園水域の河内川の甲浦新橋で 16 $\mu\text{g/g}$, 1900 $\mu\text{g/g}$, T-Cr は仁淀川水域の坂折川の坂折沈下橋で 1400 $\mu\text{g/g}$, T-Hg は同じく仁淀川水域の竜雲川(波介川合流前)の 0.9 $\mu\text{g/g}$, Cu は吉野川水域の大北川の黒沼田橋の 490 $\mu\text{g/g}$ であった。Cd, Pb, Zn が浦戸湾水域の新川川の戸原橋で高濃度を検出した理

表-1 水域別重金属濃度(河川)

水 域 名	Cd($\mu\text{g/g}$)			Pb($\mu\text{g/g}$)			As($\mu\text{g/g}$)			T-Hg($\mu\text{g/g}$)			Cu($\mu\text{g/g}$)		
	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小
吉 野 川	0.33	0.20	0.05	14	40	2.8	3.5	6.0	1.9	0.09	0.28	0.02	139	490	40
物 部 川	0.16	0.28	<0.05	19	25	12.0	6.2	9.0	3.0	0.21	0.38	0.05	41	68	21
仁 淀 川	0.26	1.00	<0.05	19	55	3.7	4.9	13.0	1.5	0.18	0.90	<0.02	56	293	20
渡 川	0.11	0.48	<0.05	18	47	5.6	5.7	8.6	3.3	0.18	0.42	0.09	28	101	56
室戸阿南海岸	0.11	0.32	<0.05	14	60	1.3	8.0	16.0	3.2	0.07	0.15	0.01	25	107	3.3
土佐湾東部海域	0.12	0.40	<0.05	22	69	4.2	7.3	13.0	2.4	0.18	0.43	0.04	35	74	10
浦 戸 湾	1.22	2.40	0.18	41	87	15.0	3.8	6.4	2.3	0.24	0.42	0.04	126	450	24
須 崎 湾	0.27	0.82	<0.05	25	84	10.0	5.5	10.0	2.6	0.18	0.33	0.08	27	70	16
中土佐地先海域	0.14	0.49	<0.05	14	26	6.5	6.2	15.0	1.7	0.17	0.42	0.06	29	59	13
足摺宇和海	0.05	0.10	<0.05	21	51	12.0	6.1	10.0	3.0	0.05	0.11	0.03	25	42	15
足摺海中公園	0.11	0.24	<0.05	15	38	3.5	6.0	8.4	3.2	0.06	0.45	0.01	16	24	4.5
宿 毛 湾	0.09	0.18	<0.05	14	25	1.0	7.4	12.0	4.2	0.10	0.40	0.02	21	30	14

水 域 名	Zn($\mu\text{g/g}$)			T-Cr($\mu\text{g/g}$)			Mn($\mu\text{g/g}$)			lg. loss(%)			河川数データ数	
	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小		
吉 野 川	108	360	29	202	320	56	938	1,403	420	1.8	2.9	1.0	3	12
物 部 川	86	130	63	161	291	32	1,004	1,700	450	4.8	7.3	1.3	3	14
仁 淀 川	103	262	40	194	1,400	30	758	1,800	410	4.0	11	7.0	12	52
渡 川	63	130	27	50	93	28	512	1,000	150	3.2	6.8	1.6	6	35
室戸阿南海岸	60	97	30	41	70	16	356	1,900	128	1.9	3.4	0.6	5	24
土佐湾東部海域	75	128	39	48	92	26	655	1,800	64	4.3	17	1.1	4	27
浦 戸 湾	216	550	68	156	234	80	607	780	390	6.5	10	1.7	1	9
須 崎 湾	116	230	54	72	164	23	443	950	220	3.8	11	1.1	5	21
中土佐地先海域	91	355	36	105	350	17	403	630	240	3.1	7.0	1.4	6	23
足摺宇和海	92	150	69	55	93	22	271	390	150	3.4	7.0	2.1	3	12
足摺海中公園	62	130	26	51	73	18	327	800	110	2.4	4.7	1.0	4	17
宿 毛 湾	74	97	48	53	100	15	363	490	270	3.3	6.8	2.3	5	15

由としては次のことが考えられた。上流に汚濁源と考えられる工場排水の流入はないが、この地点は感潮域に位置し、水の流れが常に停滞しており、昭和51年から昭和59年までの平均水質は、BOD 4.9mg/l, SS 15.2mg/l で懸濁物質と共にこれら重金属類が沈降しやすくなるものと推定された。As は室戸阿南海岸国定公園水域や県西部の宿毛湾水域でやや高い傾向がみられたが、総じてデータのバラツキも小さく（変動係数は44%と最も小さい）水域間には大差は認められず、人為的汚染ではなく地質的な要因が大きいと思われる。Mn は物部川水域および吉野川水域で高かったが、これら水域の周辺には、現在では廃止鉱山となっているかつての韭生、穴内等の多くのマンガン鉱山¹²⁾が存在しており、これらの鉱床の影響によるものと考えられた。T-Cr は仁淀川、吉野川および物部川で高かったが、これらの水域は、いずれもクロム含有量の多い蛇紋岩が分布している地域を流下しており、地質的な影響に起因していると考えられた。T-Hg は浦戸湾水域の新川川で他の水域に比べて高かった（平均0.24 $\mu\text{g/g}$ ）がCd等のところで述べたと同じ理由によるものと思われた。また、片岡ら¹³⁾による仁淀川下流の高岡平野および新川川流域の弘岡平野の水田土壌の残留水銀含量調査（1975）では、風乾細土中0.54~0.13 $\mu\text{g/g}$ 、平均0.27 $\mu\text{g/g}$ の値を得ており、この水域では水銀農業の残留などの影響も推測された。Cu は吉

野川水域の大北川で高い値を示したが、この流域は地質的には三波川帯に属し、堆積岩である結晶片岩類から成り立っており、これら結晶片岩地帯はキースラーと呼ばれる層状含銅硫化鉄鉱床¹²⁾が群集していることが知られている。特に大北川上流の白滝付近にはこの鉱床群が広く分布しており、この鉱床等の影響によるものと考えられた。

表-4 から各重金属の変動係数をみると、最も小さかったのはAs 44%であった。Cu, Cd, T-Cr は120~160%と大きく、特にCd は160%と大きい変動係数を示したが、他の測定金属のそれは50~70%の範囲であった。Cd はデータの検出限界値以下のものが多く（全体の15%）、このことがデータのバラツキを大きくした原因と考えられた。駒井ら¹⁰⁾の報告では、兵庫県下河川底質中の重金属の変動係数は79~660%であり、これに比べて変動係数が44~160%の間にあったということは、この調査期間の間に著しい人為的汚染がなく、一般的なバックグラウンドを示すものと考えられた。

3.1.2. 海 域

海域の調査結果を表-2 に示した。各重金属の平均値を海域別で比較すると、Cu, Zn, Pb は室戸岬漁港・室津港で高く、Cu は124 $\mu\text{g/g}$ 、Zn は449 $\mu\text{g/g}$ 、Pb は38 $\mu\text{g/g}$ であった。T-Cr は手結・香南地先海域で136 $\mu\text{g/g}$ 、浦の内湾で120 $\mu\text{g/g}$ と高く、また、T-

表-2 海域別重金属濃度（海域）

水 域 名	Cd($\mu\text{g/g}$)			Pb($\mu\text{g/g}$)			As($\mu\text{g/g}$)			T-Hg($\mu\text{g/g}$)			Cu($\mu\text{g/g}$)		
	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小
甲浦港・白 浜	0.11	0.60	0.05	10	41	4.6	10	16	5.1	0.06	0.50	<0.01	11	61	0.8
室戸岬漁港室津港	0.18	0.32	0.09	38	78	13	8.5	12	2.4	0.20	0.31	0.11	124	310	52
手結・香南地先	<0.05			7	9.3	5.4	6.3	8.2	5.3	0.15	0.66	0.05	17	28	8.6
浦 の 内 湾	0.11	0.25	<0.05	19	35	3.1	7.6	14	3.4	0.12	0.25	0.01	35	68	11
須崎湾 野見湾	0.18	0.60	<0.05	21	35	11	6.3	9.4	2.1	0.23	0.37	0.07	29	66	13
久 礼 地 先	0.05			11	15	8.8	9.5	13	5.2	0.14	0.24	0.09	11	15	6.6
土 佐 清 水 港	0.13	0.60	<0.05	20	53	4.2	9.5	14	4.6	0.12	0.38	0.01	30	97	4.2
足摺海中公園	0.07	0.16	<0.05	9	19	2.6	7.4	9.6	5.5	0.03	0.10	<0.01	8	28	3.3
宿 毛 湾	0.08	0.16	<0.05	14	22	1.2	8.7	19	4.0	0.05	0.11	0.01	20	39	6.6

水 域 名	Zn($\mu\text{g/g}$)			T-Cr($\mu\text{g/g}$)			Mn($\mu\text{g/g}$)			lg. loss(%)			地点数データ数	
	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小		
甲浦港・白 浜	133	254	68	18	33	6	41	160	10	2.9	7.3	0.5	4	12
室戸岬漁港室津港	449	690	280	73	120	18	172	370	89	5.7	8.6	2.8	3	15
手結・香南地先	48	58	38	136	251	57	472	560	353	1.7	3.1	0.7	2	7
浦 の 内 湾	92	170	37	120	242	38	691	1,300	440	6.7	12	1.0	8	34
須崎湾 野見湾	92	180	50	74	180	45	374	530	280	6.8	11	2.4	6	27
久 礼 地 先	46	57	37	34	48	28	381	520	313	5.5	10	3.1	2	4
土 佐 清 水 港	92	310	20	55	151	29	168	273	122	6.5	15	2.0	5	20
足摺海中公園	40	86	23	41	64	26	186	260	120	3.4	9.6	1.6	2	9
宿 毛 湾	67	96	23	57	155	12	210	290	130	5.8	8.3	3.2	6	28

表-3 重金属間の相関係数

海域 (n=155)

	Cu	Zn	Cd	Pb	T-Cr	As	T-Hg	Mn	
Cu		0.802	0.393	0.748	0.152	0.081	0.428	0.273	Cu
Zn	0.551		0.590	0.863	0.204	0.095	0.581	0.322	Zn
Cd	0.400	0.646		0.578	0.073	-0.056	0.445	0.083	Cd
Pb	0.214	0.448	0.440		0.111	0.058	0.574	0.257	Pb
T-Cr	0.177	0.129	0.139	0.014		-0.216	0.062	0.603	T-Cr
As	-0.196	-0.120	-0.124	0.063	-0.149		-0.056	-0.125	As
T-Hg	0.191	0.297	0.342	0.274	0.027	0.025		0.191	T-Hg
Mn	0.255	0.182	0.186	0.175	0.309	0.036	0.261		Mn
	Cu	Zn	Cd	Pb	T-Cr	As	T-Hg	Mn	

河川 (n=260)

Hg は須崎湾・野見湾で $0.23 \mu\text{g/g}$ と他の海域よりやや高い傾向がみられた。Mn は浦の内湾で $691 \mu\text{g/g}$ 、ついで手結・香南地先海域 $472 \mu\text{g/g}$ が高かった。As では河川の底質と同様にデータの変動も小さく海域での平均値は $6.3 \sim 10 \mu\text{g/g}$ の範囲であった。

高濃度な値がみられた地点は、Cu, Zn, Pb で室戸岬漁港の St 9, T-Cr で物部川河口沖 (St 3), T-Hg は手結・香南地先海域の St 2 であった。また、Mn は浦の内湾の湾央部の St12 で高かった。データのバラツキを示す変動係数は Cd, Cu で高く $100 \sim 126\%$ 、他の金属は $33 \sim 85\%$ の範囲にあり、変動の小さかったのは As の 33% であった。河川の場合と同様に考えて、調査期間の間に人為的汚染はなく、一般的なバックグラウンドを示すものと考えられた。

測定結果の高値の原因を推定すると以下になる。Cu, Zn, Pb は室戸岬漁港内で高いが、周辺には汚濁源と考えられる工場はみられず、この港内は漁船の船だまりがあって、船舶の修理等が行われており、船底塗料の影響などが考えられた。T-Cr は物部川河口沖および浦の内湾で高い傾向がみられたが、これらの海域への流入河川である物部川および仁淀川の底質の濃度が地質的な要因で高かったことなどから、流入河川の底質の影響が推測された。Mn は浦の内湾の湾央部で高かったが、これは、地質的には横浪半島が四万十帯の須崎層に属し、この層は Mn 鉱床をはさむチャートが発達しており¹⁴⁾、この地質的な影響によるものと推測された。他の金属では、As が宿毛湾湾奥部で、また、T-Hg は須崎湾湾奥部で最大値がみられたが、河川同様これらの原因は不詳であった。Cd は $0.2 \mu\text{g/g}$ 以下のデータが総数の 84% で、一般的にみて底質の濃度は低いレベルにあると考えられた。

3.2. 重金属相互の相関

各重金属濃度間の相関係数を表-3 に示した。河川、海域とも各金属間に相関がみられた。河川では、Zn

と Cd, Cu, Pb の間で特に高い相関を示した。しかし As と他の金属との相関では、Pb を除いて逆相関であった。海域でも Zn と Cd, Cu, Pb との間に高い相関がみられた。また、T-Cr と他の重金属との組み合わせでは相関性は低く Zn, As (逆相関) および Mn 以外には相関はみられなかった。

河川、海域とも、Zn と Cu, Cd, Pb の間で良好な相関がみられたが、これらの重金属は、元素の挙動から分類すると硫黄との親和力が大きい親銅元素とされ¹⁵⁾、同じ環境中で類似の挙動を示すことによるものと考えられた。そして、このことが水質に有機汚濁のみられる仁淀川水域の宇治川、相生川、浦戸湾水域の新川川および須崎湾水域の御手洗川、池の内川等の中小河川の河口部で Zn と Pb の濃度が高いことにも反映しているものと思われた。

4. 平均値の推定

調査した底質中の重金属濃度を評価する場合に、人為的な汚染か地質的な特性に起因しているかを考慮して判断する必要がある。一般に、平均値などの代表値を算定する場合に濃度の高いデータ (極大値) が複数個存在する場合には、その代表値に大きく左右される。このため、本報告では、得られた重金属のデータから複数個の極大値を異常値として棄却判定する方法として、市川¹⁶⁾が水質で適用した方法があり、この方法に従って駒井ら¹⁰⁾が底質で行った方法により棄却検定を行った。その方法の概要は以下のとおりである。

最大値 (X_o) と、最大値を除去した時の平均値 ($\bar{X}$) とに有意な差がないと仮定し、 t_o を

$$t_o = |X_o - \bar{X}| / \sqrt{S^2 \cdot \frac{n+1}{n}}$$

n : データ数 s : 標準偏差

のように定義して求める。ここで、n は河川で 261、

表-4 底質中の重金属濃度(河川)

	最大値 ($\mu\text{g/g}$)	最小値 ($\mu\text{g/g}$)	平均値 (算術) ($\mu\text{g/g}$)	平均値 (幾何) ($\mu\text{g/g}$)	標準偏差	変動係数 (%)	データ数	データ 除去数	四国の河川 ¹⁸⁾ 上流部底質 の平均値 ($\mu\text{g/g}$)	日本の河川 ¹⁸⁾ 上流部底質 の平均値 ($\mu\text{g/g}$)	地殻の ¹⁷⁾ 平均値 ($\mu\text{g/g}$)
Cu	490	3.3	42	31 28	56	133	261 252	9	33.6	23	50
Zn	550	26	89	79 71	57	64	261 260	1	76.9	72	75
Cd	2.4	0.05	0.20	0.08	0.32	160	261	—	0.38	0.46	0.11
Pb	87	1.0	18.8	16	12.6	67	261	0	15.6	17	14
T-Cr	1,400	15	101	73 71	123	122	261 259	2	20.9	12	100
As	16	1.5	5.9	5.5	2.6	44	261	0	—	—	1.5
T-Hg	0.90	0.01	0.15	0.11	0.11	73	261	0	0.22	0.14	0.05
Mn	1,900	64	564	484	326	58	261	0	—	—	950

表-5 底質中の重金属濃度(海域)

	最大値 ($\mu\text{g/g}$)	最小値 ($\mu\text{g/g}$)	平均値 (算術) ($\mu\text{g/g}$)	平均値 (幾何) ($\mu\text{g/g}$)	標準偏差	変動係数 (%)	データ数	堆積物の ¹⁷⁾ 平均値 ($\mu\text{g/g}$)	名古屋港 ¹⁹⁾ コア試料 ($\mu\text{g/g}$)
Cu	310	0.8	34	22	43	126	156	33	14.9
Zn	370	10	85	72	53	62	156	95	62.6
Cd	0.60	0.05	0.12	0.08	0.12	100	156	0.17	0.59
Pb	78	1.2	18	15	13	72	156	19	23.1
T-Cr	251	6	74	60	48	65	156	72	18.1
As	19	2.1	8.1	7.6	2.7	33	156	7.7	5.9
T-Hg	0.66	0.01	0.13	0.08	0.11	85	156	0.19	0.14
Mn	1,300	68	369	307	233	63	156	770	—

海域で156であり、大標本とみなされ、 $t_0 = |X_0 - \bar{X}|/S$ と近似できる。この t_0 は自由度($n-1$)の t 分布に従う。 t 分布は自由度 n が大きい場合正規分布に近づくことから、正規分布表から有意水準 α の時の棄却基準 t_α を求め、この t_0 と t_α を比較し、 $t_0 \geq t_\alpha$ のとき、 X_0 は異常値とみなし棄却する。そして、この操作を $t_0 < t_\alpha$ になるまで繰り返し行う。ここでは $\alpha=0.1\%$ とし、その時の $t_\alpha=3.08$ を用いた。検定を行う前にデータの分布特性を検討したところ、いずれの金属も対数正規分布とみなすことができた。従って、棄却検定はデータを対数に変換して行った。この場合、Cdは検出限界以下のデータが多かったので検定からは除外した。その結果河川ではCuで9個、T-Crで2個、Znで1個が異常値として棄却された。海域ではいずれの金属も棄却されるデータはなかった。棄却後のデータは正規分布に属すると考えてよく、棄却後のデータを用いて幾何平均値を計算し、その結果を表-4、表-5に示した。河川ではCu 28 $\mu\text{g/g}$ 、Zn 71 $\mu\text{g/g}$ 、Pb 16 $\mu\text{g/g}$ 、T-Cr 71 $\mu\text{g/g}$ 、As 5.5 $\mu\text{g/g}$ 、T-Hg 0.11 $\mu\text{g/g}$ 、Mn 484 $\mu\text{g/g}$ が得られた。これらの値を表-4に示す地殻の平均値と比べるとAsとT-Hgが高く、それぞれ3.7倍、2.2倍であった。Zn、Pbは平均値に近似していたが、Cu、T-Cr、

Mnはやや低く、特にMnは1/2と低い値であった。Asの場合地殻の平均値の3.7倍と高かったが、土壌中にはAsの濃度が中央値で6.0 $\mu\text{g/g}$ 存在することから¹⁷⁾、むしろ、地殻の平均値より土壌中の濃度に近いものと考えられた。T-Hgは地殻の平均値の2.2倍であったが、四国の河川の平均値も高いことから農業等の残留が示唆された。

海域の幾何平均値は、Cu 22 $\mu\text{g/g}$ 、Zn 72 $\mu\text{g/g}$ 、Pb 15 $\mu\text{g/g}$ 、T-Cr 60 $\mu\text{g/g}$ 、As 7.6 $\mu\text{g/g}$ 、T-Hg 0.08 $\mu\text{g/g}$ 、そしてMn 307 $\mu\text{g/g}$ が得られ、表-5に示す堆積物の平均値と比べると、いずれの金属も低い値であった。特にT-HgとMnは2/5と低く海域底質中の重金属濃度のレベルは、非汚染値と同程度かそれ以下であり低いレベルで推移しているものと考えられた。

以上のことから、今後県下の河川、海域底質中の重金属濃度を評価する場合に、これらの値はバックラウンドレベルとしての意義をもち汚染の指標を与えることができると考えられる。

5. ま と め

昭和51年から昭和56年までの県下の主要な河川、海

域の底質調査結果について、重金属の濃度分布および平均値の推定を行った結果、次の結論をえた。

5.1. 重金属濃度分布では、銅、総クロム、マンガンが地質の影響をうけ、鉛、亜鉛は水質汚濁が進んだ水域で底質濃度も高い傾向がみられ生活排水等の人為的影響が示唆された。

5.2. 異常値を棄却する方法で平均値を推定した結果河川では銅 $28\mu\text{g/g}$ 、亜鉛 $71\mu\text{g/g}$ 、鉛 $16\mu\text{g/g}$ 、総クロム $71\mu\text{g/g}$ 、ひ素 $5.5\mu\text{g/g}$ 、総水銀 $0.11\mu\text{g/g}$ 、マンガン $484\mu\text{g/g}$ が得られ、海域では銅 $22\mu\text{g/g}$ 、亜鉛 $72\mu\text{g/g}$ 、鉛 $15\mu\text{g/g}$ 、総クロム $60\mu\text{g/g}$ 、ひ素 $7.6\mu\text{g/g}$ 、総水銀 $0.08\mu\text{g/g}$ 、マンガン $307\mu\text{g/g}$ であった。

これらの値は最近9年間の平均値で、県下の河川、海域の底質中重金属濃度を評価する場合、バックグラウンドレベルとしての意義をもつものと考えられる。

文 献

- 1) 高知県：昭和51年度公共用水域の水質測定結果，pp. 338, 1977.
- 2) 高知県：昭和52年度公共用水域の水質測定結果，pp. 325, 1978.
- 3) 高知県：昭和53年度公共用水域の水質測定結果，pp. 330, 1979.
- 4) 高知県：昭和54年度公共用水域の水質測定結果，pp. 346, 1980.
- 5) 高知県：昭和55年度公共用水域の水質測定結果，pp. 348, 1981.
- 6) 高知県：昭和56年度公共用水域の水質測定結果，pp. 340, 1982.
- 7) 高知県：昭和57年度公共用水域の水質測定結果，pp. 252, 1983.
- 8) 高知県：昭和58年度公共用水域の水質測定結果，pp. 266, 1984.
- 9) 高知県：昭和59年度公共用水域の水質測定結果，pp. 268, 1985.
- 10) 駒井幸雄，芦田賢一：兵庫県公害研究所研究報告，16, 46-49, 1984.
- 11) 環境庁水質保全局水質管理課編：底質調査方法
- 12) 高知県：高知県地質鉱産図および説明書，1961.
- 13) 片岡一郎，塩田哲夫：高知大学学術研究所報告，24, (農学4)，1975.
- 14) 甲藤次郎：高知県の地質，pp. 316, 高知市民図書館，1969.
- 15) 山県登：微量元素—環境科学特論—，pp. 286, 産業図書，1977.
- 16) 市川新：都市河川の環境科学，pp. 247, 培風館，1981.
- 17) H.J.M.Bowen (浅見輝男，茅野充男訳)：環境無機化学—元素の循環と生化学—，pp. 369, 博友社，1983.
- 18) 多田史，小田仁美ら：衛生化学，24, 65-70, 1978.
- 19) 小川務，児玉剛則ら：愛知県公害調査センター所報，5, 164-191, 1977.