

し、この濃度は水質基準の50%を超えるところが少なくないことを示している。図4-3～4-4に示した亜硝酸イオン、硝酸イオンは平均がそれぞれ0.31mg/L、5.0mg/Lであり、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素の合計窒素濃度として換算すると1.22mg-N/Lであった。図4-4に示されるように硝酸イオンは、濃度分布の幅が大きく、比較的高濃度の硝酸イオンが含まれている地点が散見された。図4-5に示すように臭化物イオンは平均0.10mg/L、標準偏差0.11mg/Lであり、海水の塩化物イオンと臭化物イオンとの比率が200:1であることからすると、臭化物イオンの存在比が高い傾向が認められる。図4-6に示すように硫酸イオンは平均で10.3mg/L、標準偏差13.4mg/Lと濃度的には高くはないが、その変動幅が大きいことがうかがわれる。そのため、60mg/Lをこえるところが5カ所も存在した。

図4-7～4-8に示すように、ナトリウムおよびカリウムはその平均濃度は11mg/L、1.4mg/Lであり、それらの標準偏差は9.3mg/Lと1.2mg/Lである。一般的には良好な地下水であるが、Naで40mg/Lをこえるところもあり、塩素イオンの高いところと一致することから塩水の影響を受けているものと考えられる。図4-9～4-10にカルシウムおよびマグネシウムの濃度分布を示す。それらの平均は9.8mg/L、3.9mg/Lであり、標準偏差もそれぞれ7.3mg/L、3.9mg/Lであり、ほとんどの地下水は軟水であることを示している。しかし、Caイオンが30mg/L、Mgイオンが20mg/Lを超えるところもあり、これらは硬水に属し、必要に応じ軟水化処理を行う必要があるものとする。

図4-11にホウ素の濃度分布図を示す。その平均濃度は39.5 μ g/L、標準偏差75.9 μ g/Lと濃度分布が大きい。水質基準監視項目の指針値を超えるところはないものの、809 μ g/Lと指針値に近いところが1カ所存在している。リンの濃度分布図を図4-12に示す。健康影響リスクを有するものではないが、水道水の細菌増殖能に関係する。その濃度が4mg/Lを超えるものもみられ、その発生源についての検討が今後必要である。

ニッケルの濃度分布を図4-13に示す。その平均濃度は0.76 μ g/Lであり、最大濃度でも監視項目の指針値10 μ g/Lを超えるところは存在していなかった。図4-14に亜鉛の濃度分布図を示す。平均濃度では8.5 μ g/Lであり、基準値より遙かに低い値である。しかし、1箇所のみ特異的に高い水源が存在している。

ヒ素の濃度分布図を図4-15に示す。平均濃度は1.3 μ g/Lであるが、基準値である10 μ g/Lを超えるところが5カ所存在し、しかも38.7 μ g/Lと非常に高い水源が存在している。図4-16にウランの濃度分布図を示す。ウランは最大濃度でも0.86 μ g/Lと低く、北海道内の地下水ではウランの影響を受けている水源は存在しないものと推定される。

鉄の濃度分布図を図4-17に示す。鉄の平均濃度は0.18mg/Lであり、標準偏差も0.66mg/Lと大きな値を示すことから、水質基準の0.3mg/Lを超える水道水源が多く存在するものと推定される。最大濃度が5mg/Lを超えるところもあるが、これらのところでは除鉄処理をしているものと考えられる。図4-18はマンガンの濃度分布図であり、鉄と同じようにその濃度が基準値を超えるところが多く存在するものと推定される。一般に鉄とマンガンは共存していることが多いことから、除鉄・マンガン除去設備を設置しているものと考えられる。

4. 4. おわりに

北海道の簡易水道を中心として地下水の無機物質の状況を調査した。その結果、原水段階において水道水質基準を超える地点が存在し、また、少数の水源で非常に水質が悪いところが存在していた。塩素イオン、アルミニウム、クロム（ただし今回の分析では総クロムしか行っていないので6価クロムについては不明）、鉄、マンガン、ヒ素、鉛については、水道原水の段階の時点では水質基準値あるいは監視項目の指針値を超える水源が1カ所以上の地点で見られた。水道水質基準は水道水（浄水）に対する基準値であり、原水が水質基準を超えていること自体に問題はない。しかしながら原水の水質が悪い場合には、適切な浄水処理を行い浄水において水質基準を達成しなければならない。今後は、浄水において基準値などを満たしているかどうかの調査が必要であると考えられる。

表4-1 調査対象水源

簡水、上水計

1. 政令市(旭川市、函館市、小樽市)の保健所分

保健所	区分	浅井戸ヶ所	深井戸ヶ所	湧水ヶ所	計
旭川市	簡水	0	1	0	1
	上水	0	0	0	0
函館市	簡水	0	0	0	0
	上水	0	3	0	3
小樽市	簡水	0	2	0	2
	上水	0	0	0	0
計	簡水	0	3	0	3
	上水	0	3	0	3

計: 3保健所

3. 全体の合計 29保健所

最終計	簡水	54	117	84	255
	上水	23	53	12	88
	合計	77	170	96	342

2. 道の保健所分 計: 26保健所

渡島	簡水	1	5	2	8
	上水	4	0	1	5
江差	簡水	0	0	6	6
	上水	0	0	0	0
八雲	簡水	3	18	0	21
	上水	0	7	0	7
江別	簡水	0	0	0	0
	上水	2	18	0	20
千歳	簡水	0	1	0	1
	上水	0	3	0	3
倶知安	簡水	6	10	21	37
	上水	0	0	1	1
岩内	簡水	0	1	3	4
	上水	0	0	0	0
岩見沢	簡水	0	2	0	2
	上水	0	0	0	0
滝川	簡水	1	0	0	1
	上水	0	0	0	0
深川	簡水	2	0	0	2
	上水	0	0	0	0
室蘭	簡水	5	3	4	12
	上水	0	9	0	9
苫小牧	簡水	5	0	2	7
	上水	1	1	1	3
浦河	簡水	3	0	0	3
	上水	2	0	0	2
静内	簡水	4	0	4	8
	上水	4	0	0	4
上川	簡水	0	0	0	0
	上水	1	0	1	2
名寄	簡水	1	3	3	7
	上水	0	4	0	4
富良野	簡水	3	7	7	17
	上水	0	3	1	4
留萌	簡水	0	7	5	12
	上水	0	0	0	0
稚内	簡水	3	12	3	18
	上水	0	0	0	0
北見	簡水	0	6	1	7
	上水	2	2	2	6
網走	簡水	0	7	4	11
	上水	1	2	2	5
紋別	簡水	3	2	0	5
	上水	0	0	0	0
帯広	簡水	9	24	10	43
	上水	5	1	1	7
釧路	簡水	3	4	9	16
	上水	1	0	1	2
根室	簡水	1	1	0	2
	上水	0	0	0	0
中標津	簡水	1	1	0	2
	上水	0	0	1	1
計	簡水	54	114	84	252
	上水	23	50	12	85

單位	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Cd	Sb	Pb	U
	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L
平均值	180.88	0.76	5.46	8.51	1.33	0.26	2.50	0.50	0.05	1.69	0.06
標準偏差	655.61	1.35	20.94	22.90	3.21	0.12	0.00	0.03	0.03	1.36	0.06
最大值	5734.00	9.81	272.10	283.50	38.66	2.07	5.00	1.08	0.43	20.25	0.86
定置限界	10.00	0.50	5.00	5.00	0.50	0.50	5.00	1.00	0.10	3.00	0.10
1	1192.25	1.13	ND	6.99	3.66	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	747.88	2.37	ND	ND	3.38	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3	1406.25	4.17	ND	8.16	2.70	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4	64.30	ND	ND	ND	3.96	ND	ND	ND	ND	ND	ND
5	46.93	1.15	ND	ND	5.37	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6	28.41	1.27	ND	51.88	0.69	ND	ND	1.08	ND	ND	ND
7	ND	0.68	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
12	ND	ND	ND	283.50	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.11
13	170.38	0.76	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15	2627.50	4.38	ND	ND	1.18	ND	ND	ND	ND	ND	ND
16	2028.75	7.00	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
17	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
18	23.58	1.31	5.28	9.19	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
19	246.13	0.78	ND	5.87	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
21	ND	ND	ND	ND	8.63	ND	ND	ND	0.10	ND	ND
22	ND	ND	ND	11.44	0.89	ND	ND	ND	ND	ND	ND
23	68.39	0.83	ND	ND	10.46	ND	ND	ND	ND	ND	ND
24	1148.13	0.98	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
25	23.00	0.60	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
27	90.78	0.56	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
28	56.55	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
29	155.63	1.25	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
30	109.19	ND	ND	ND	0.88	ND	ND	ND	0.10	ND	ND
31	ND	4.46	46.53	13.36	0.53	ND	ND	ND	ND	3.11	ND
32	ND	1.94	23.43	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
33	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
34	23.60	1.22	63.50	18.70	1.48	ND	ND	ND	ND	3.88	ND
35	42.09	0.82	7.97	ND	2.75	ND	ND	ND	0.11	3.70	0.20
36	1132.00	0.82	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	8.88	ND
37	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
38	37.31	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
39	21.18	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
41	ND	0.85	17.94	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
42	ND	ND	22.09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
43	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
44	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
45	96.06	0.69	11.71	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
46	32.93	0.94	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
47	ND	ND	ND	10.06	6.56	ND	ND	ND	ND	ND	ND
48	308.63	ND	ND	ND	0.76	ND	ND	ND	ND	ND	ND
49	435.00	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
50	ND	ND	ND	ND	1.20	ND	ND	ND	ND	ND	ND
51	35.86	ND	ND	5.73	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
52	1210.00	1.10	ND	ND	0.73	ND	ND	ND	ND	5.03	ND
53	28.09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
54	574.75	ND	ND	30.74	1.74	ND	ND	ND	ND	ND	ND
55	ND	ND	ND	22.09	2.76	ND	ND	ND	ND	ND	0.14
56	324.25	ND	ND	131.63	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
57	62.71	ND	ND	87.20	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
58	44.48	ND	ND	ND	1.55	ND	ND	ND	ND	ND	ND
59	ND	ND	ND	ND	4.49	ND	ND	ND	ND	ND	ND
60	395.25	ND	ND	9.78	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
61	282.63	ND	ND	7.66	3.18	ND	ND	ND	ND	ND	ND
62	5264.00	ND	ND	ND	3.51	ND	ND	ND	ND	ND	ND
63	26.14	1.86	ND	11.71	1.11	ND	ND	ND	ND	20.25	ND
64	ND	ND	ND	ND	1.26	ND	ND	ND	ND	ND	ND
65	ND	ND	ND	ND	2.59	ND	ND	ND	ND	ND	ND
66	ND	ND	ND	ND	1.24	ND	ND	ND	ND	ND	ND
67	ND	ND	ND	ND	0.67	ND	ND	ND	ND	ND	ND
68	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
69	16.38	ND	ND	ND	1.15	ND	ND	ND	ND	ND	ND
70	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
71	ND	ND	6.42	ND	0.57	ND	ND	ND	ND	ND	ND
72	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
73	ND	ND	ND	ND	3.59	ND	ND	ND	ND	ND	ND
74	41.45	ND	ND	28.50	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
75	31.15	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
76	32.44	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.11
77	ND	ND	ND	ND	0.81	ND	ND	ND	ND	ND	ND
85	ND	ND	ND	ND	2.09	ND	ND	ND	0.17	ND	ND
86	ND	ND	ND	ND	1.17	ND	ND	ND	ND	ND	ND
87	40.29	ND	ND	ND	15.90	ND	ND	ND	0.20	ND	ND
88	395.25	0.54	ND	ND	0.62	ND	ND	ND	ND	ND	ND
89	21.13	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
90	ND	1.10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
91	84.19	7.10	ND	7.31	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
92	39.03	6.18	ND	7.29	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
95	99.66	ND	ND	11.23	1.14	ND	ND	ND	ND	ND	ND
96	130.13	ND	ND	91.59	1.11	ND	ND	ND	ND	ND	ND
97	4308.00	0.53	ND	8.67	23.31	ND	ND	ND	ND	ND	ND
98	1160.00	1.04	ND	12.20	1.49	ND	ND	ND	ND	ND	ND
99	413.25	2.11	ND	62.99	0.89	ND	ND	ND	ND	ND	ND
100	19.26	1.42	ND	5.46	ND	ND	ND	ND	ND	5.54	ND
101	53.65	0.79	ND	11.74	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
102	41.53	7.25	ND	29.19	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
103	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
104	68.38	ND	ND	ND	0.85	ND	ND	ND	ND	ND	ND
105	123.06	ND	ND	31.26	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

單位	Fe μg/L	Ni μg/L	Cu μg/L	Zn μg/L	As μg/L	Se μg/L	Mo μg/L	Cd μg/L	Sb μg/L	Pb μg/L	U μg/L
106	82.23	ND	ND	94.41	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
107	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
108	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
109	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
110	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
111	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
112	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
113	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
114	379.63	ND	ND	ND	1.15	ND	ND	ND	ND	ND	ND
115	242.50	ND	ND	ND	0.93	ND	ND	ND	ND	ND	ND
116	222.63	ND	ND	ND	0.58	ND	ND	ND	ND	ND	ND
117	30.13	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
118	58.20	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
119	15.59	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
120	85.40	0.67	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
121	40.33	9.81	85.15	11.54	2.08	ND	ND	ND	ND	4.51	ND
122	84.91	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
123	112.65	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
124	78.96	ND	ND	41.15	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
125	65.08	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
126	609.63	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
127	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
128	ND	ND	49.23	ND	2.62	ND	ND	ND	ND	ND	ND
129	5734.00	8.56	195.75	26.19	ND	ND	ND	ND	ND	6.52	ND
130	157.75	5.65	ND	ND	8.20	ND	ND	ND	ND	ND	ND
131	195.00	1.24	ND	ND	14.34	ND	ND	ND	ND	ND	ND
133	37.15	0.57	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
134	39.10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
135	33.89	2.80	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
136	ND	0.57	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
137	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
138	27.75	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
139	33.43	4.11	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
140	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
141	31.43	2.34	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
142	ND	0.57	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
143	32.33	1.72	ND	5.24	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
144	34.21	2.16	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
145	41.09	ND	23.53	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
146	64.63	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
147	65.26	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
148	71.40	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
149	30.38	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
150	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
151	41.04	0.51	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
152	ND	ND	ND	ND	3.82	ND	ND	ND	ND	ND	ND
153	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
155	15.44	ND	ND	ND	0.93	ND	ND	ND	ND	ND	ND
156	70.64	ND	ND	6.46	1.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND
157	24.88	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.10
158	50.16	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
160	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
161	111.85	1.59	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
162	118.11	1.65	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
163	19.05	ND	ND	11.53	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.12
164	54.60	2.65	ND	16.96	4.35	ND	ND	ND	ND	ND	ND
165	25.73	3.50	ND	ND	3.23	ND	ND	ND	ND	ND	ND
166	22.38	0.53	ND	ND	2.70	ND	ND	ND	ND	ND	ND
167	22.95	3.69	ND	8.00	2.73	ND	ND	ND	ND	ND	ND
168	212.25	ND	ND	7.15	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
169	29.41	ND	ND	ND	2.35	ND	ND	ND	ND	ND	ND
170	25.85	ND	ND	ND	2.32	ND	ND	0.15	ND	ND	ND
171	162.63	0.93	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
172	22.60	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
173	ND	ND	ND	7.56	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
174	ND	ND	ND	10.36	ND	ND	ND	ND	ND	0.11	ND
175	58.38	ND	ND	ND	1.12	ND	ND	ND	ND	ND	ND
176	19.06	ND	ND	ND	1.69	ND	ND	ND	ND	ND	0.18
177	23.40	ND	ND	ND	2.00	ND	ND	ND	ND	ND	0.20
178	ND	ND	ND	6.17	6.38	ND	ND	ND	ND	ND	0.15
179	36.94	ND	ND	ND	3.03	ND	ND	0.16	ND	ND	0.13
181	ND	ND	ND	ND	0.86	ND	ND	ND	ND	ND	ND
182	27.83	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.19
183	28.98	ND	ND	24.90	ND	0.75	ND	ND	ND	ND	ND
184	22.86	2.48	ND	8.10	ND	2.07	ND	ND	ND	ND	ND
185	42.76	ND	ND	ND	1.23	0.84	ND	ND	ND	ND	ND
186	ND	ND	ND	ND	1.66	ND	ND	ND	ND	ND	ND
187	95.25	0.64	5.04	10.24	3.78	0.75	ND	ND	ND	ND	ND
188	20.94	ND	ND	ND	0.65	ND	ND	ND	ND	ND	ND
189	22.35	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
190	36.74	ND	ND	5.26	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
191	20.44	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
192	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
193	16.95	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
194	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
195	133.13	ND	ND	8.07	2.18	ND	ND	ND	ND	ND	0.86
196	55.13	ND	ND	ND	2.39	ND	ND	ND	ND	ND	0.15
197	98.83	ND	ND	ND	2.12	ND	ND	ND	ND	ND	0.39
198	36.35	ND	ND	ND	3.22	ND	ND	ND	ND	ND	ND
199	23.96	ND	ND	10.59	1.58	ND	ND	ND	ND	ND	0.14
200	16.14	ND	ND	ND	2.54	ND	ND	0.15	ND	ND	ND
204	22.35	1.38	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
207	ND	ND	ND	10.85	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
208	27.20	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
210	28.88	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
212	23.46	ND	ND	ND	1.88	ND	ND	ND	ND	ND	0.10
213	19.96	3.74	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
214	18.93	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

單位	Fe μg/L	Ni μg/L	Cu μg/L	Zn μg/L	As μg/L	Se μg/L	Mo μg/L	Cd μg/L	Sb μg/L	Pb μg/L	U μg/L
215	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
216	148.00	1.54	8.22	ND	1.45	ND	ND	ND	ND	ND	ND
217	ND	ND	ND	12.88	1.19	ND	ND	ND	ND	ND	0.13
218	ND	ND	ND	7.66	2.00	ND	ND	ND	ND	ND	ND
219	17.09	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.13
222	ND	ND	ND	ND	0.54	ND	ND	ND	ND	ND	0.10
223	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
224	16.46	2.98	10.27	12.15	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
225	ND	ND	ND	ND	0.55	ND	ND	ND	ND	ND	ND
226	26.71	1.42	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
227	29.28	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
228	15.98	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
229	145.50	0.83	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
230	170.50	0.73	ND	5.45	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
235	22.06	1.37	ND	9.89	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
236	ND	ND	ND	ND	0.58	ND	ND	ND	ND	ND	ND
237	ND	ND	ND	ND	0.53	ND	ND	ND	ND	ND	ND
238	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
243	1632.00	1.45	9.50	8.55	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
244	771.80	4.10	ND	18.55	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
245	1384.00	0.64	ND	16.83	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
246	ND	ND	ND	10.74	2.28	ND	ND	ND	ND	ND	ND
247	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
248	ND	ND	ND	ND	0.54	ND	ND	ND	ND	ND	ND
249	35.65	4.65	ND	ND	0.62	ND	ND	ND	ND	ND	ND
250	141.13	0.64	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
251	36.69	ND	7.55	ND	0.55	ND	ND	ND	ND	ND	ND
252	ND	ND	ND	ND	0.51	ND	ND	ND	ND	ND	0.12
253	1131.00	ND	ND	ND	38.66	ND	ND	0.43	ND	ND	ND
254	29.51	0.84	ND	13.89	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
256	ND	ND	ND	12.80	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
257	ND	ND	ND	29.35	0.88	ND	ND	ND	ND	ND	ND
258	ND	ND	10.52	12.84	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
259	62.79	0.60	ND	ND	5.08	ND	ND	ND	ND	ND	ND
260	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
261	16.59	ND	ND	17.46	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
262	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
263	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
264	26.43	ND	ND	16.10	0.77	ND	ND	ND	ND	ND	ND
265	ND	ND	ND	ND	4.17	ND	ND	ND	ND	ND	ND
266	ND	ND	5.43	ND	1.55	ND	ND	ND	ND	ND	ND
267	ND	ND	ND	ND	1.11	ND	ND	ND	ND	ND	ND
268	ND	ND	ND	ND	6.65	ND	ND	ND	ND	ND	ND
269	ND	0.66	ND	5.09	0.86	ND	ND	ND	ND	ND	ND
270	ND	ND	ND	ND	1.21	ND	ND	ND	ND	ND	ND
271	ND	ND	ND	ND	3.45	ND	ND	ND	ND	ND	ND
272	87.86	0.82	ND	106.03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
273	20.49	1.82	ND	13.00	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
274	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
275	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
276	49.74	ND	ND	ND	0.53	ND	ND	ND	ND	ND	ND
277	ND	ND	ND	13.08	1.04	ND	ND	ND	ND	ND	0.12
278	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
279	ND	ND	ND	ND	1.67	ND	ND	ND	ND	ND	ND
280	ND	ND	ND	ND	1.00	ND	ND	ND	ND	ND	ND
290	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
291	ND	ND	ND	ND	1.09	ND	ND	ND	ND	ND	ND
292	4525.00	ND	ND	22.20	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
293	1366.00	ND	ND	26.66	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
294	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
295	29.58	1.19	ND	14.34	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
296	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
297	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
298	ND	ND	ND	6.06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
299	ND	ND	ND	ND	0.82	ND	ND	ND	ND	ND	ND
300	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
303	ND	ND	ND	ND	1.33	ND	ND	ND	ND	ND	ND
304	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
305	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
306	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
307	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
308	ND	ND	ND	ND	8.06	ND	ND	ND	ND	ND	ND
309	ND	ND	ND	ND	3.12	ND	ND	ND	ND	ND	0.11
310	38.78	ND	ND	ND	1.20	ND	ND	ND	ND	ND	ND
311	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
312	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
313	50.90	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
314	ND	ND	ND	ND	0.53	ND	ND	ND	ND	ND	ND
315	ND	ND	ND	ND	1.38	ND	ND	ND	ND	ND	ND
316	ND	ND	ND	ND	3.40	ND	ND	ND	ND	ND	ND
317	21.31	ND	ND	ND	1.36	ND	ND	ND	ND	ND	0.27
318	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
320	ND	ND	ND	ND	0.60	ND	ND	ND	ND	ND	ND
321	ND	ND	ND	ND	1.96	ND	ND	ND	ND	ND	ND
322	ND	ND	ND	ND	1.53	ND	ND	ND	ND	ND	ND
323	93.48	ND	ND	10.31	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
325	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
326	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.15
327	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.14
328	ND	ND	ND	ND	0.51	ND	ND	ND	ND	ND	ND
329	ND	ND	ND	ND	0.80	ND	ND	ND	ND	ND	ND
330	ND	ND	ND	ND	1.77	ND	ND	ND	ND	ND	ND
331	99.25	0.61	272.10	107.25	1.30	ND	ND	ND	8.87	ND	0.16
332	46.56	3.22	7.38	5.15	0.85	ND	ND	ND	ND	ND	ND
333	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

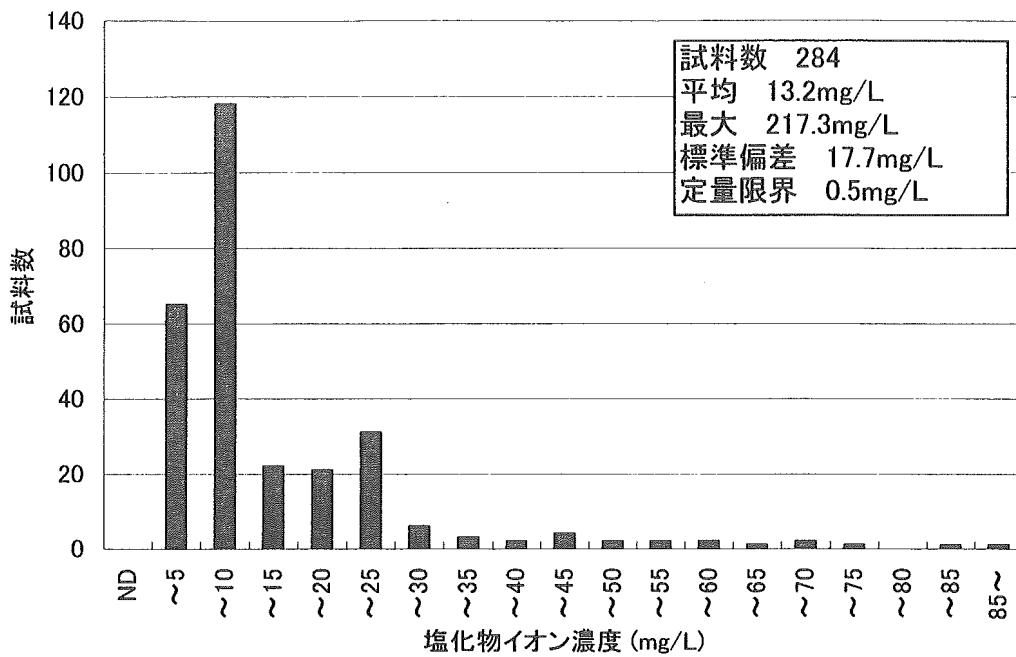


図4-1 塩化物イオンの濃度分布図

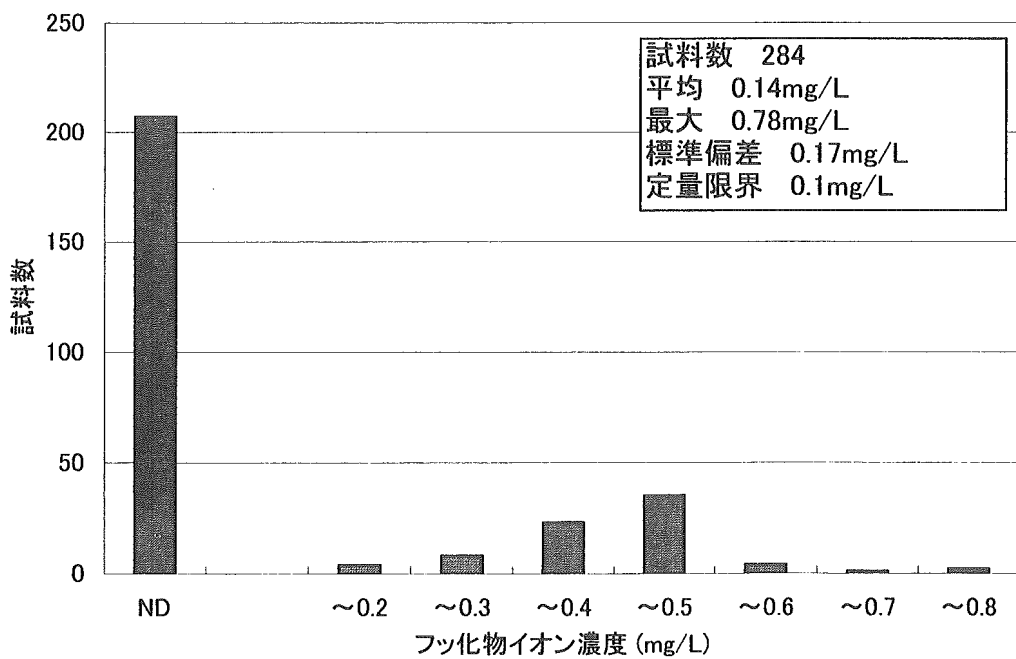


図4-2 フッ化物イオンの濃度分布図

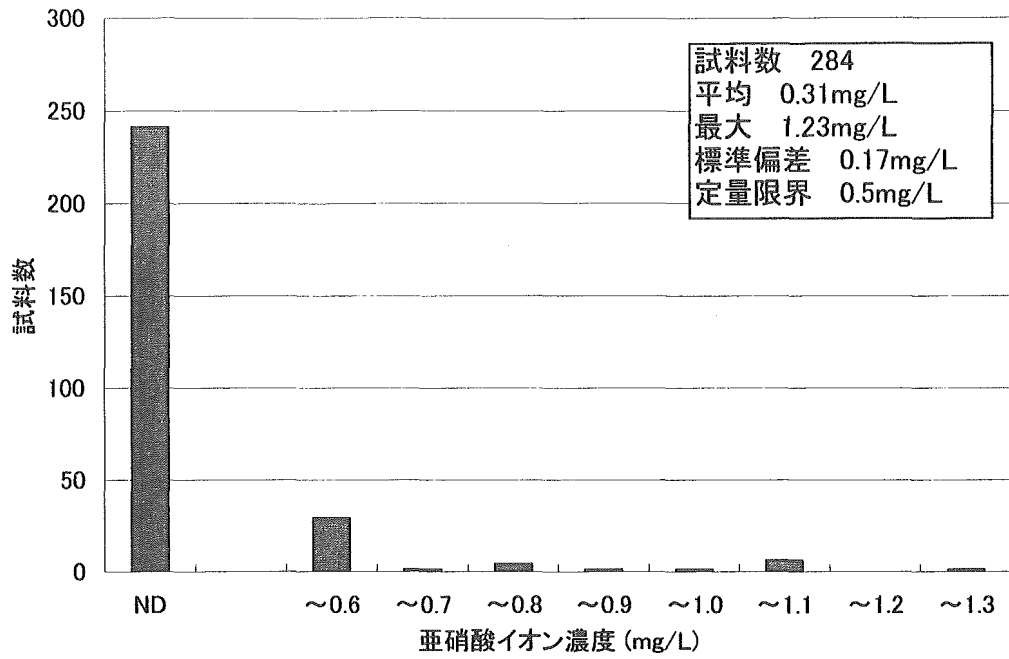


図4-3 亜硝酸イオンの濃度分布図

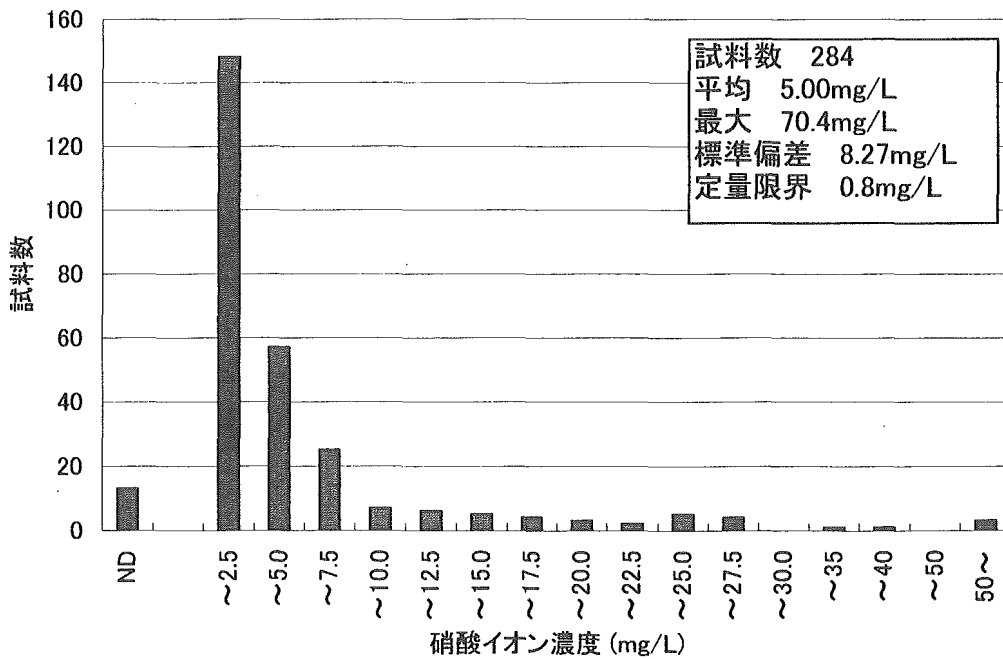


図4-4 硝酸イオンの濃度分布図

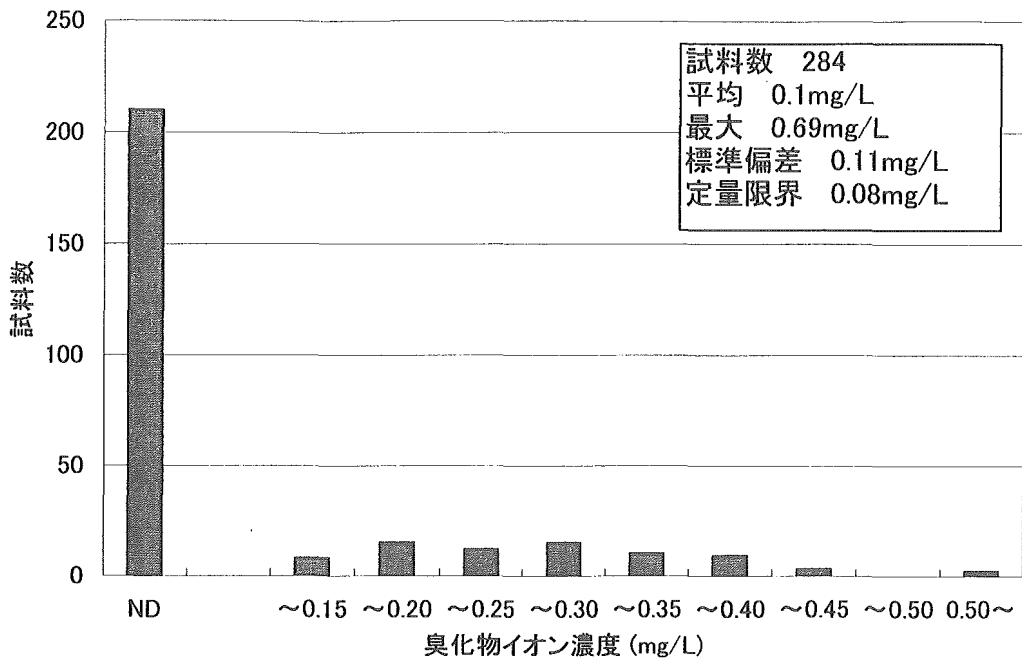


図4-5 臭化物イオンの濃度分布図

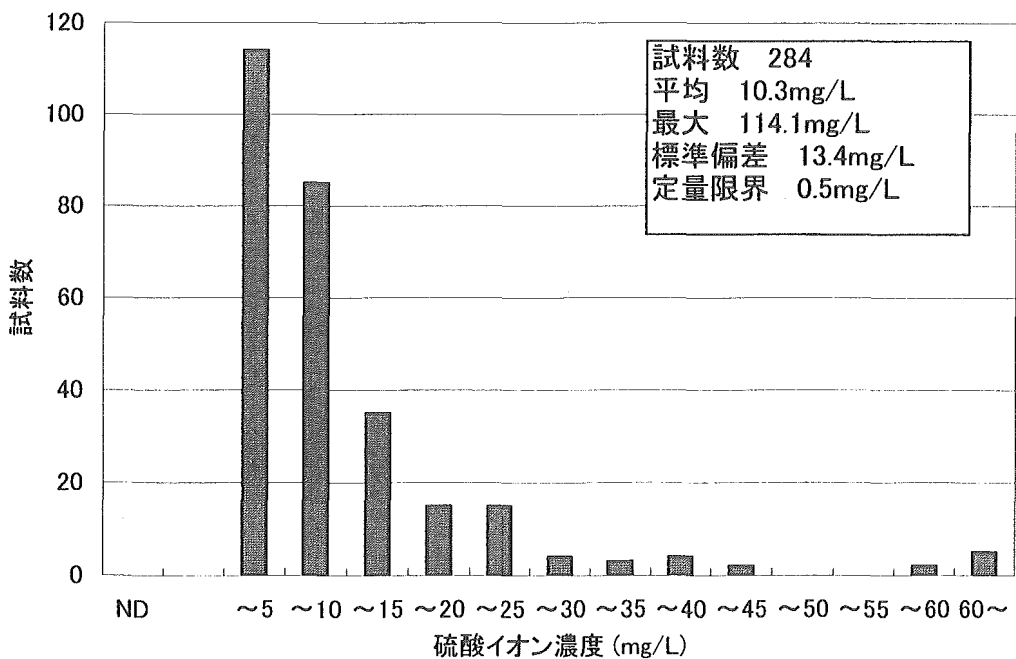


図4-6 硫酸イオンの濃度分布図

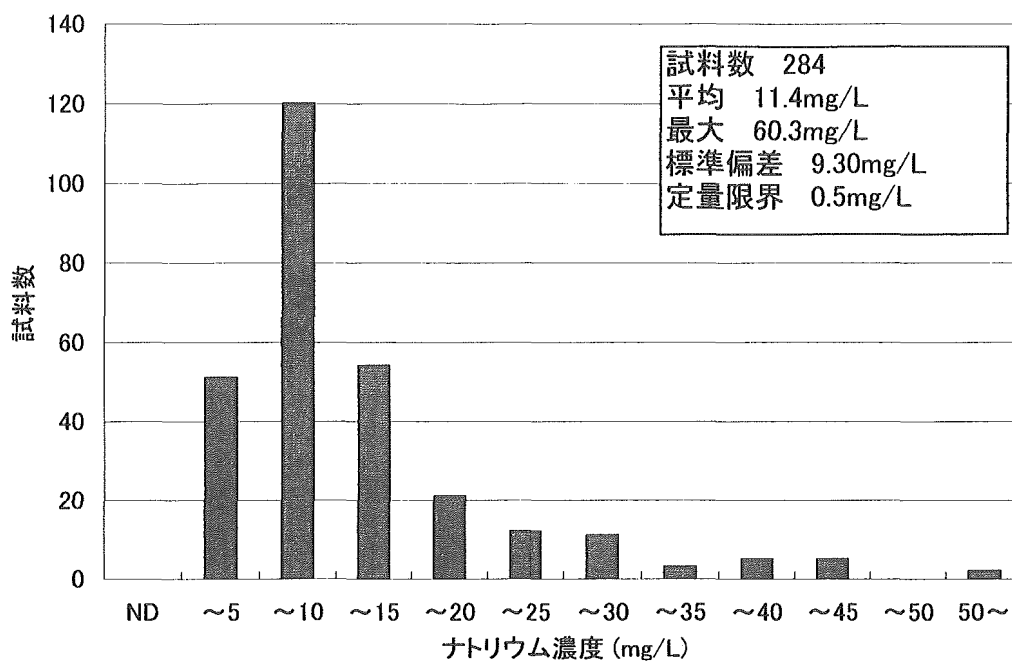


図4-7 ナトリウムの濃度分布図

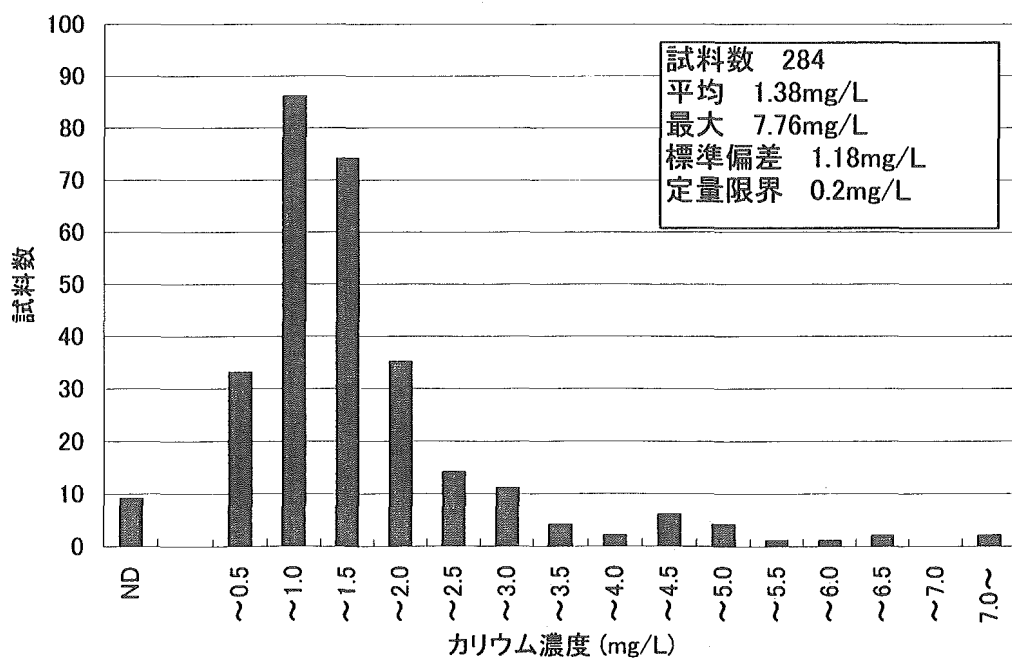


図4-8 カリウムの濃度分布図

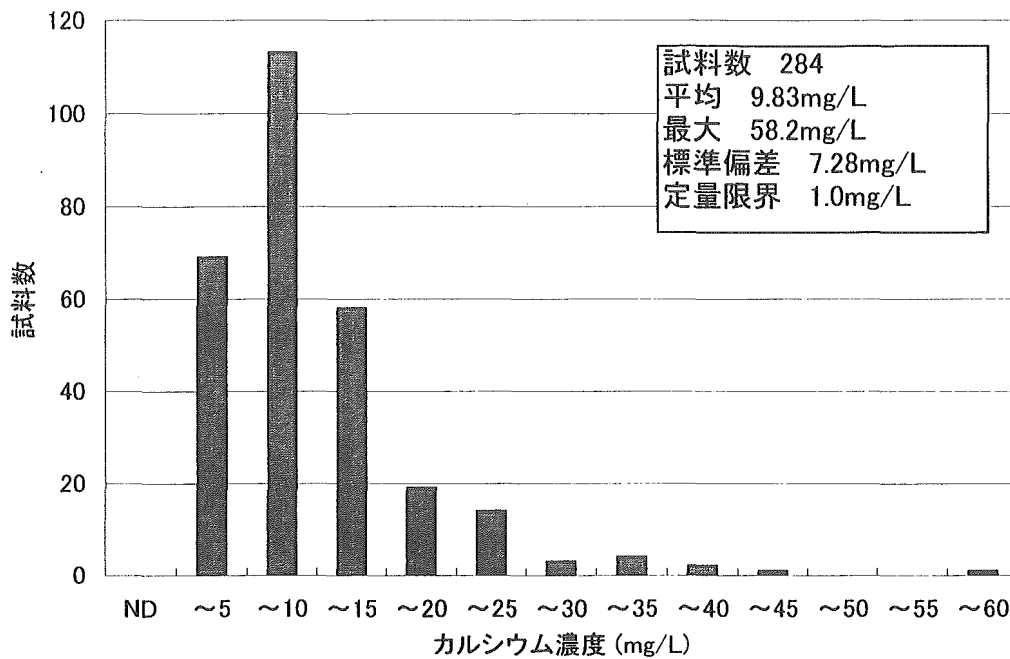


図4-9 カルシウムの濃度分布図

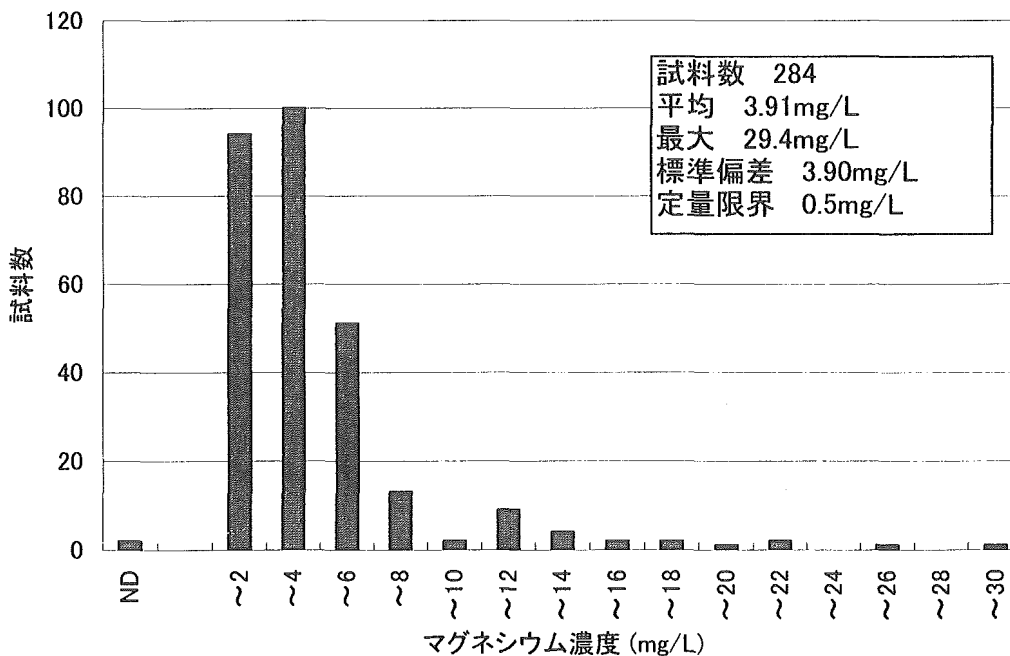


図4-10 マグネシウムの濃度分布図

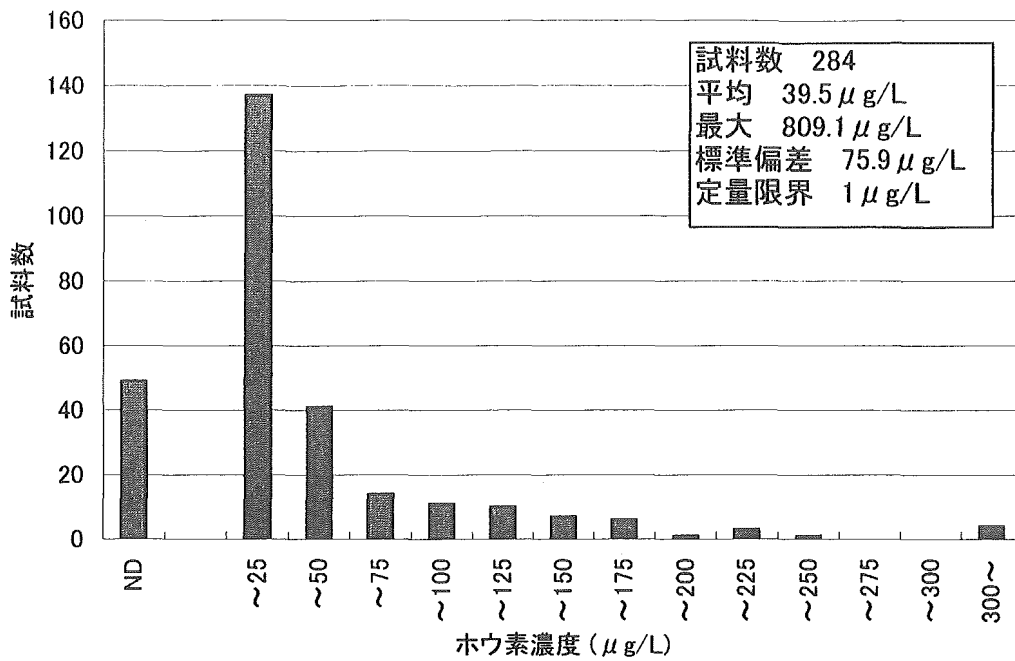


図4-11 ホウ素の濃度分布図

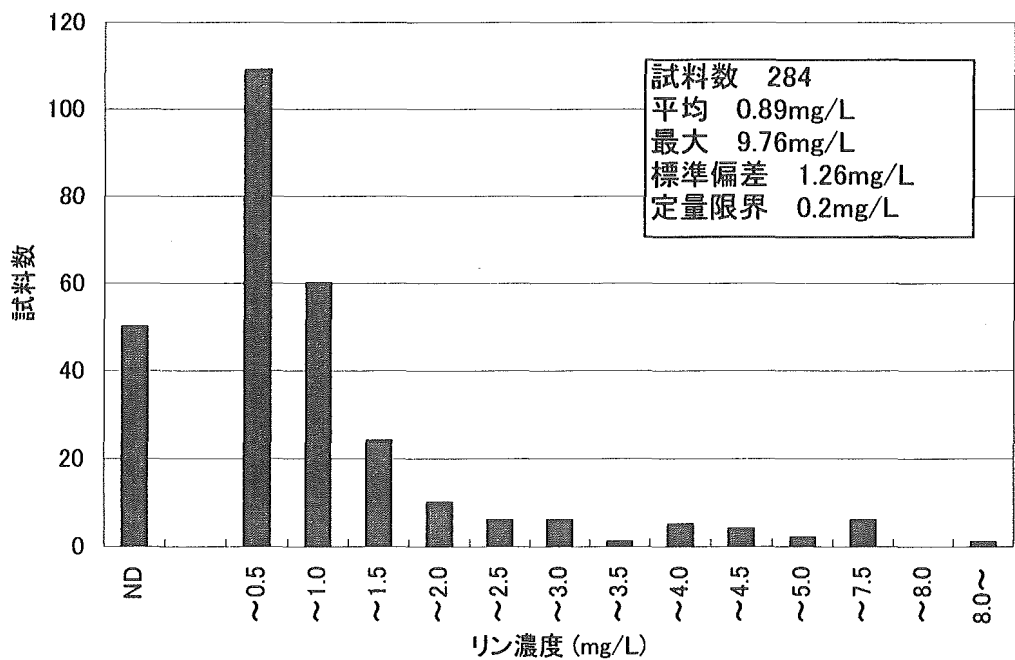


図4-12 リンの濃度分布図

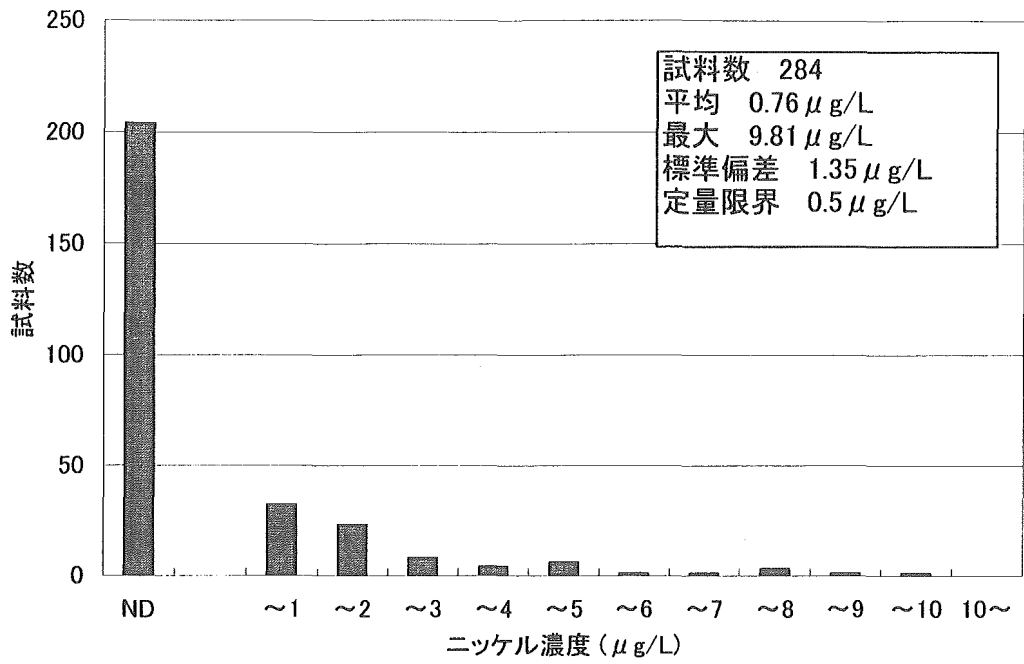


図4-13 ニッケルの濃度分布図

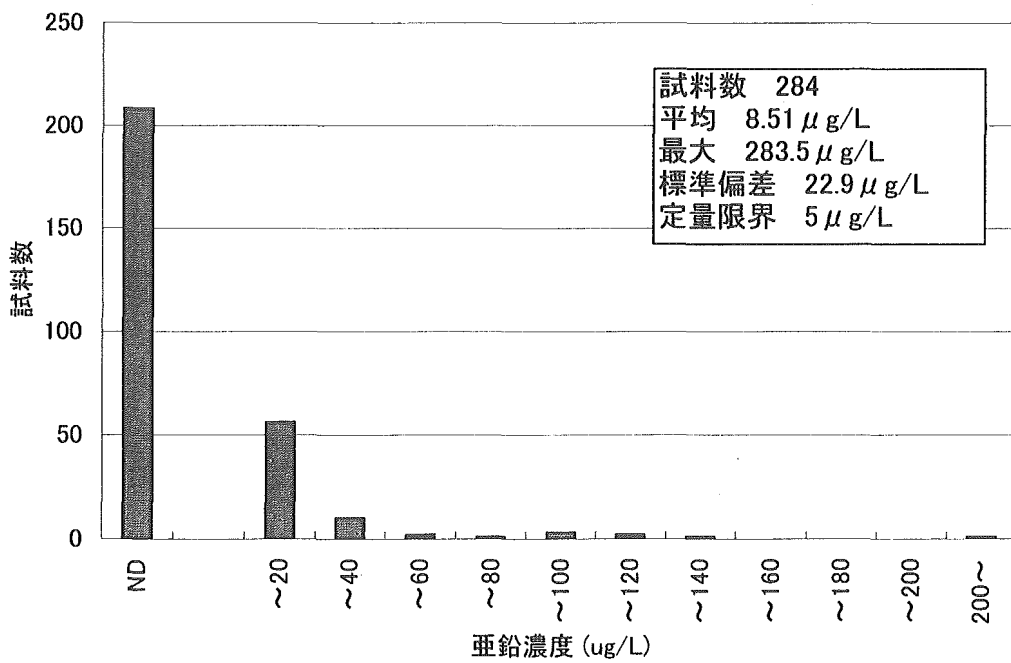


図4-14 亜鉛の濃度分布図

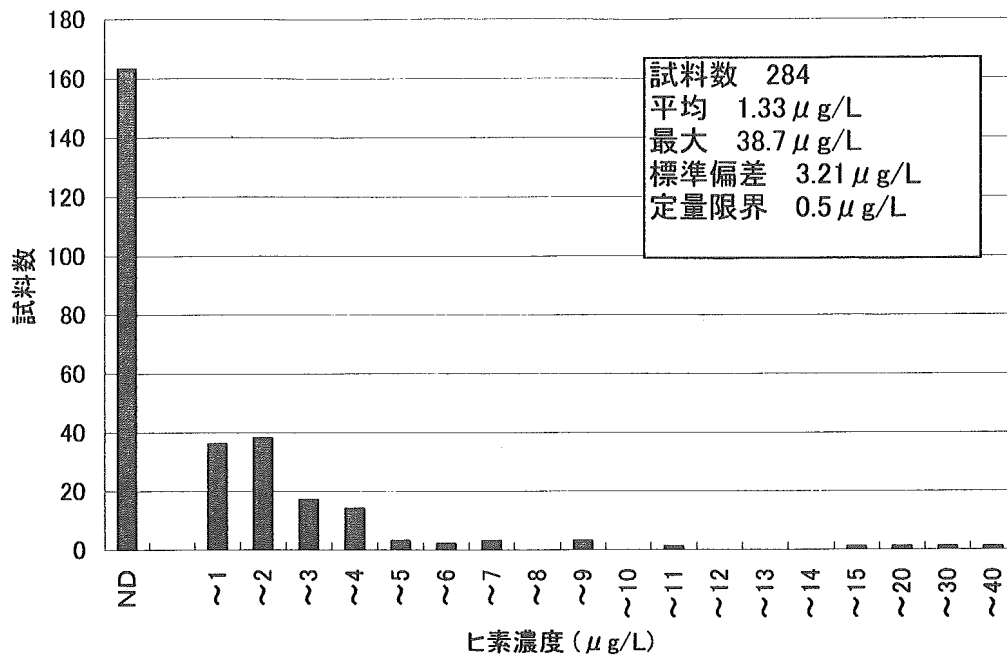


図4-15 ヒ素の濃度分布図

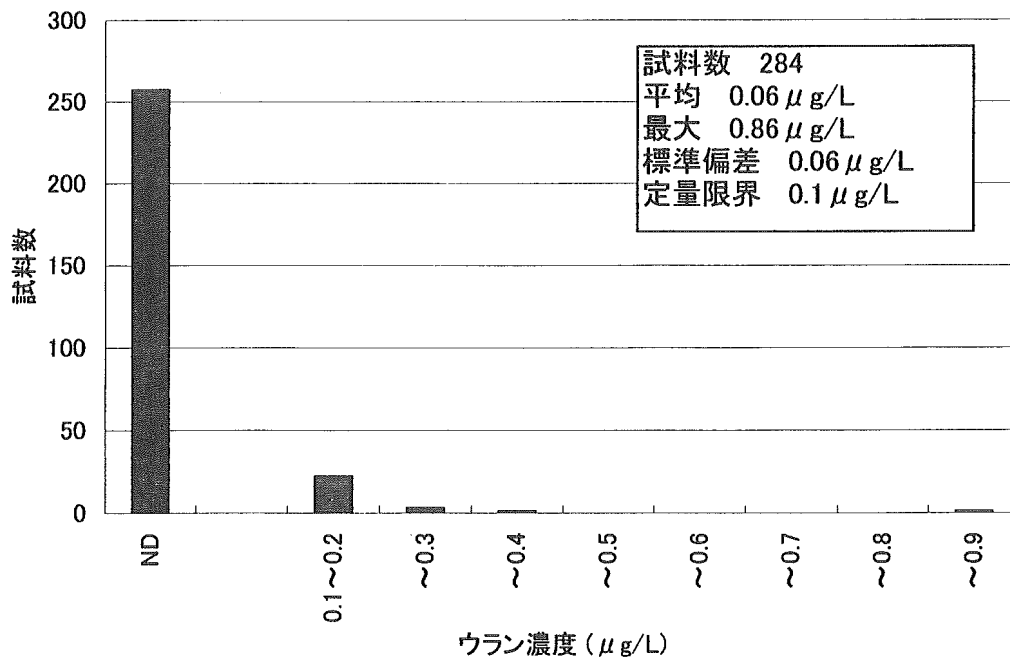


図4-16 ウランの濃度分布図

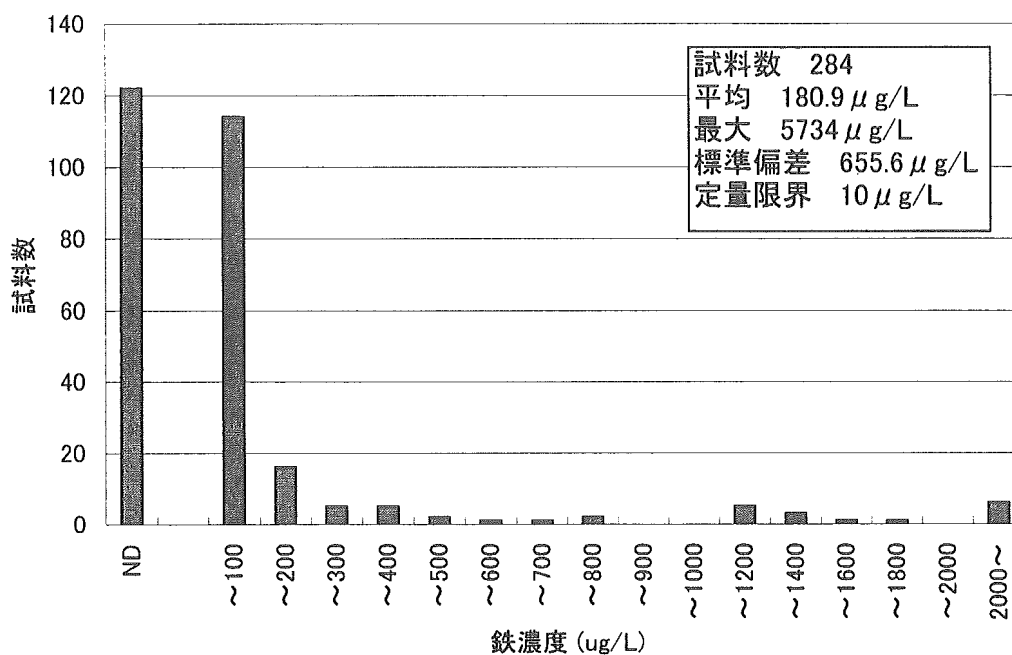


図4-17 鉄の濃度分布図

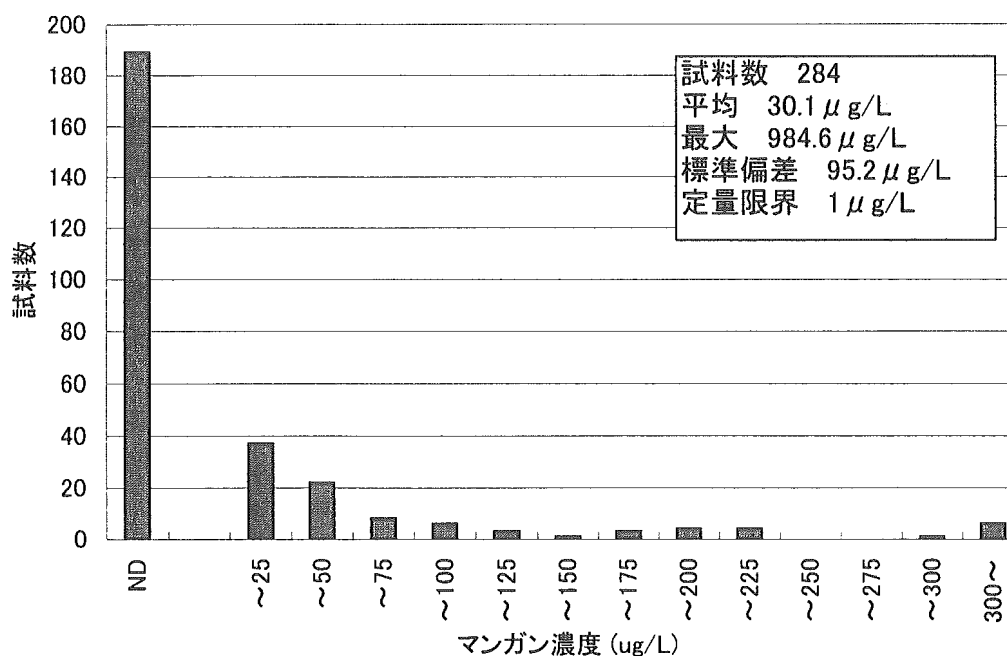


図4-18 マンガンの濃度分布図

5. 無機ヒ素化合物によるラット肝細胞 MAP Kinase の活性化に関する研究

5. 1. はじめに

数多くの疫学調査によって、無機ヒ素化合物はヒトの皮膚、肺、膀胱、腎臓及び肝臓における発がん物質であることが明らかにされている。無機ヒ素化合物の遺伝子障害性は大部分の変異原性試験で陰性の結果が得られており、助変異原物質 (Comutagen)あるいは発がんプロモーターとして作用すると考えられている。しかしながら、そのメカニズム、特に発がんプロモーション作用に関しては未解明の部分が多い。本研究では、無機ヒ素化合物が細胞内シグナル伝達の攪乱によって発がんプロモーション作用を発現する可能性を明らかにする目的で、Sodium Arsenite (AsIII)に曝露したラット肝細胞のタンパク質チロシンリン酸化状態を調べるとともに、細胞増殖・分化の制御に重要な役割を果たしている Mitogen-Activated Protein (MAP) Kinase 系に対する AsIII の影響を検討した。

5. 2. 実験方法

雄性 Wistar ラットから調製した肝細胞を 10%新生仔ウシ血清、10 nM Insulin、10 nM Dexamethasone 及び 30 mg/l Kanamycin を添加した Williams' E 培地で培養した。4 時間後に、10%新生仔ウシ血清の代わりに 0.1% BSA を添加した Williams' E 培地に交換し、さらに 20 時間培養した。培養開始から 24 時間後に無血清 Williams' E 培地で再度培地交換を行い AsIII (100 μ M) を添加した。AsIII 処理後の肝細胞に Lysis Buffer を加えて細胞を溶解し、遠心上清中のタンパク質を SDS-PAGE で分離、セミドライ法で PVDF メンブランに転写した。Horseradish Peroxidase 標識抗リン酸化チロシン抗体 (Amersham Pharmacia Biotech)、抗 Phospho-ERK1/2 (Thr202/Tyr204) 抗体、抗 Phospho-SAPK/JNK (Thr183/Tyr185) 抗体及び抗 Phospho-p38 MAP Kinase (Thr180/Tyr182) 抗体 (New England Biolabs) を用いる Western Blot 法によりリン酸化タンパク質を検出した。

5. 3. 結果と考察

図 5-1 に示したように、AsIII 曝露した肝細胞ではチロシンリン酸化タンパク質が増加し、分子量約 160 kD のタンパク質では AsIII 添加後 10 分以内にチロシンリン酸化が顕著に亢進した。タンパク質チロシン残基のリン酸化は細胞増殖あるいは分化などの多様な細胞機能において極めて重要な役割を担っている。そこで、AsIII 曝露によるリン酸化の亢進が肝細胞のシグナル伝達に及ぼす影響を明らかにするために、MAP Kinase 系の活性化について検討を行った。

図5-2は Phosph-ERK1/2 量の経時的な変化を示したものである。AsIII による肝細胞 ERK1/2 の活性化には二相性がみられ、10分をピークとする一過性のリン酸化と60分以後の持続的なリン酸化が観察された。また、AsIII は主にストレス性の応答に関与すると考えられている JNK/SAPK 及び p38 MAP Kinase も活性化し、前者は AsIII 添加後5分で、後者は AsIII 添加後20分で活性化が認められ、いずれも360分まで持続的なリン酸化の亢進が観察された。

以上のように、AsIII は肝細胞のタンパク質チロシンリン酸化を亢進させ、MAP Kinase 系を活性化することが明らかになった。ERK1/2 は EGF や HGF などの増殖因子のシグナル伝達に関わる重要な Kinase であり、ERK1/2 の活性化による増殖因子様の作用を通して AsIII が発がんプロモーション作用を発現する可能性が考えられる。