

II-440 無機イオンからみた河川の水質汚濁の評価

国立公害研究所 水質土壌環境部 正員 海老瀬潜一

1. はじめに

河川水中の無機イオン濃度は主として、流域内の地質や土壌等の影響を反映するものであったが、近年においては、大気汚染、農地への肥料の投入、生活系排水、産業系排水など人為的な影響を強く反映するようになって来た。とくに、無機イオンの中でもC Iは流域内の人口密度や工場・事業所排水など人為的な汚濁に影響されることは、測定が容易で殆どC Iに支配されている電気電導度の値を通して知られている。また、無機態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$)やリン酸態リンについては湖沼の富栄養化との関係から多くの知見が得られている。しかし、その他の無機イオンについては定期的な1年間の観測を通して流出負荷量としての定量的な評価がほとんどなされていない。例えば、湖沼などでの藻類の増殖に対する主要栄養塩としてのN、P以外に、必須元素としてはKやSiも重要な水質項目である。ここでは、種々の土地利用形態の河川を、対象にC Iや $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ に加えて、Na、K、Ca、2価陽イオンについて、水質項目相互関係や、有機汚濁指標のCODとの関係について報告することにする。

2. 定期観測による河川流出負荷量とその特性

霞ヶ浦流入河川の恋瀬川、山王川、園部川の3河川については1979年6月～1980年5月の1年間（降水量1332mm）に、境川、桜川、備前川、花室川、清明川、小野川、新利根川の7河川については1981年6月～1982年5月の1年間（降水量1151mm）に毎週1回定時の流出負荷量調査を実施した。新利根川は灌漑期に小貝川から大量の農業用水の導入があり、流量と流出負荷量とも他の河川と同様の解析には含めないことにする。花室川は一部流域の下水道が他水系へ流出しており、園部川には他流域も含むし尿処理場放流水が排出される。境川下流の水田にはハス田が多く含まれ、恋瀬川流域には約7万頭の豚の飼育が行われているなどの特徴がある。表-1に調査河川の流域特性を、表-2に無機イオンの平均濃度と比流出負荷量を示した。

C Iは人為的な汚濁の程度を示す指標として表-3に示すようにCODのほか $\text{PO}_4\text{-P}$ 、Na、K、Ca、2価陽イオンとの相関が高い。Na、Kもその相関の高い水質項目との関係から人為的な汚濁をよく反映している点が注目される。 $\text{NO}_3\text{-N}$ は、後述のように一部の河川を除けば畑地面積などとの相関が高いけれども、 $\text{NH}_4\text{-N}$ を含む無機態窒素の排出量の多い河川でも高く、これらの水質項目の中では1つ異質なものとなっている。降雨時流出の観測から SO_4 等と挙動が近いことがわかっていて、Caは地質的な影響も反映し、NaやKとは相関が高いが少し異なった特徴があり、C Iとも相関が高いほかに $\text{NO}_3\text{-N}$ とも相関が高い。2価陽イオンはCaがほとんどで残りはMgが占める形となっているため、Caに近い特徴となる。

無機イオンは流域の地質や土壌の影響をバックグラウンドとして反映するとともに、農耕地への肥料や土壌改良資材の投入、生活系排水や工場・事業所系排水、大気降下物等の影響も大きい。したがって、流域面積当りの流出負荷量では表-2のように市街地河川の値が大きくなるが、流域人口当りの流出負荷量是一部例外を除くと農耕地河川も市街地河川も余り変わらない値となる。C Iは9～25kg/人/年、Kは3.2～7.7kg/人/年、Naは5～12kg/人/年、Caは3～13kg/人/年、2価陽イオンは6～22kg/人/年とかなり限られた範囲の値となる。この他、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は0.03～0.21kg/人/年、 $\text{NO}_2\text{-N}$ は0.06～0.20kg/人/年、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は0.12～0.88kg/人/年、 $\text{NO}_3\text{-N}$

は1.4～6.8kg/人/年、CODは2.8～15.8kg/人/年であった。また、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の畑地面積当りの流出負荷量としては1.4～6.8ton/畑地面積 km^2 /年となった。

表-1 調査10河川の流域特性

	桜川	小野川	清明川	境川	花室川	備前川	新利根川	恋瀬川	山王川	園部川
流域面積(km^2)	330.0	120.6	24.5	17.6	34.4	6.5	34.0	151.0	12.4	72.8
人口密度(人/ km^2)	281	554	541	902	1,068	1,939	1,668	365	1807	346
林地面積(%)	37	29	29	21	20	20	(9)	46	15	30
水田面積(%)	25	20	22	16	14	21	(66)	20	12	19
畑地面積(%)	23	32	32	30	27	10	(7)	24	34	38
市街地面積(%)	13	17	16	33	37	44	(13)	9	38	12
平均流速(m^3/s)	3.21	1.25	0.36	0.24	0.79	0.086	2.52	2.38	0.47	1.65

表-2 無機イオンの平均濃度と比流出負荷量

		桜川	小野川	碓氷川	城川	花室川	碓氷川	碓氷川	碓氷川	碓氷川	碓氷川	碓氷川	碓氷川
COD	平均濃度 (mg/l)	4.3	4.8	8.3	13.0	5.7	16.7	9.1	5.2	8.6	8.1		
	比流出負荷量 (t/ha ² /y)	1.33	1.54	3.94	4.92	4.39	6.87	6.04	2.45	10.58	5.48		
NH ₄ -N	平均濃度 (mg/l)	0.40	0.22	1.08	1.69	0.48	3.47	0.52	0.46	1.00	0.29		
	比流出負荷量 (t/ha ² /y)	0.10	0.07	0.47	0.64	0.32	1.45	0.78	0.22	1.10	1.36		
NO ₂ -N	平均濃度 (mg/l)	0.08	0.10	0.20	0.20	0.17	0.40	0.08	0.07	0.31	0.70		
	比流出負荷量 (t/ha ² /y)	0.02	0.03	0.09	0.09	0.12	0.16	0.21	0.03	0.37	0.42		
NO ₃ -N	平均濃度 (mg/l)	1.46	1.82	2.43	0.98	2.75	0.56	0.58	1.52	1.18	2.37		
	比流出負荷量 (t/ha ² /y)	0.47	0.68	0.60	0.41	1.84	0.24	0.33	0.88	1.51	1.86		
PO ₄ -P	平均濃度 (mg/l)	0.04	0.05	0.16	0.31	0.18	0.64	0.06	0.09	0.35	0.26		
	比流出負荷量 (t/ha ² /y)	0.01	0.02	0.07	0.12	0.13	0.26	0.03	0.05	0.38	0.14		
Cl	平均濃度 (mg/l)	21.8	26.2	30.5	29.6	32.3	44.0	58.4	14.9	26.0	22.7		
	比流出負荷量 (t/ha ² /y)	6.2	9.1	13.7	12.6	23.0	18.0	78.7	6.7	29.5	15.2		
K	平均濃度 (mg/l)	6.2	6.8	9.2	9.7	9.4	15.0	18.7					
	比流出負荷量 (t/ha ² /y)	1.9	2.2	4.2	4.5	7.0	6.3	28.9					
Na	平均濃度 (mg/l)	8.5	10.9	14.4	14.4	14.8	26.0	41.9					
	比流出負荷量 (t/ha ² /y)	3.0	3.4	6.5	6.5	10.8	10.5	53.1					
Ca	平均濃度 (mg/l)	11.8	12.4	14.1	10.9	19.3	14.7	12.5					
	比流出負荷量 (t/ha ² /y)	3.7	4.0	6.3	4.9	13.7	8.1	30.6					
2価陽イオン	平均濃度 (mg/l)	20.6	22.1	23.8	18.8	32.8	26.1	24.9					
	比流出負荷量 (t/ha ² /y)	59.2	7.2	10.5	8.0	23.1	10.7	54.9					

表-3 水質項目間の相関係数

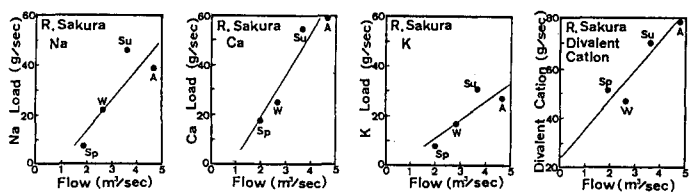
	COD	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	Cl	Na	K	Ca	2価陽
COD										
NH ₄ -N	0.788									
NO ₂ -N	0.775	0.814								
NO ₃ -N	0.342	0.206	0.649							
PO ₄ -P	0.984	0.774	0.720	0.294						
Cl	0.883	0.580	0.667	0.555	0.876					
Na	0.882	0.673	0.938	0.407	0.860	0.965				
K	0.844	0.617	0.912	0.462	0.823	0.976	0.994			
Ca	0.352	0.031	0.497	0.896	0.331	0.898	0.759	0.796		
2価陽	0.395	0.050	0.513	0.892	0.352	0.897	0.772	0.806	0.998	

3. 無機イオンの流出特性

無機イオンは降雨による流量増加に対して濃度減少がみられることが多いものの、流量の増加率ほど濃度の減少率が上がらないため、その流出負荷量は晴天時流出の場合よりかなり大きくなる。NO₃-Nは農耕地や山地流域で、SO₄は農耕地流域で降雨時流出において濃度増加が認められているが、陽イオンでも大きな降雨時流出や夏季の地温の上昇する時期に濃度の上昇、したがって、流出負荷量の増加が見られる。毎週1回定時の流出負荷量観測では、およそ4日に1度の頻度で生ずる降雨時流出の影響が十分反映されているとは言えないけれども、降雨時流出の影響は1年間（52回）の流量加重平均濃度と算術平均濃度の差としても知ることが可能である。表-1の10河川中で流量加重平均濃度（総負荷量/総流量）が算術平均濃度を上回ったのはNO₃-Nの7河川で、Clは0河川であった。また、7河川の観測例しかないKは5河川、Naは3河川、Caは3河川、二価陽イオンは0河川であった。このように、降雨時流出を中心に流量増加に伴う無機イオン流出負荷量増加が見られる。

これらの無機イオンの濃度や流出負荷量の季節変化は、図-1、図-2のように降水量したがって流量に大きく影響されているが、6～8月の夏季に濃度や流出負荷量が大きく、9～11月の秋季のそれがその次に大きいことが多い。これは、表土層では地温、水中では水温が高く、溶脱や分解が大きいことが原因と考えられる。

図-1 無機イオン濃度の季節変化特性



4. おわりに

肥料や大気汚染物は面源負荷として流域への入力時点の影響だけでなく、その後植生・土壌などの緩衝作用を受けるものの蓄積的な影響として残存する。したがって、河川における、無機イオン流出負荷量は、さらに経年的な変化と、降水量など水文条件による流出への影響を明らかにする必要がある。

図-2 桜川の流出負荷量と流量の季節変化