

ノート

陸水環境に及ぼす酸性雨の影響に関する研究 (第5報)
 - 夜叉ヶ池調査の中間報告と今後の課題 -
 宇都宮高栄・坊 栄二・浜野 慶子

Study for the Effect of Acid Rain on Water Environment (5)
 - interim report on Yasyagaike and next problems -
 Takae UTSUNOMIYA Eiji BOH Keiko HAMANO

1 はじめに

夜叉ヶ池における酸性雨の影響に関して、水質調査の年平均値を見るかぎり、平成13~14年度は、以前と比べてpHが低下し、硝酸イオンの上昇傾向がうかがえた。

夜叉ヶ池の水質測定は、環境省委託および福井県独自調査により、平成9年(1997)から14年まで毎年継続実施しており、平成15年度以降も引き続き調査を継続する予定である。

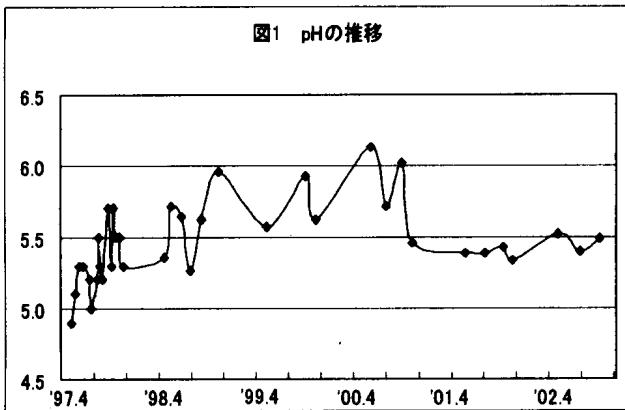
ここでは、従来の経過を中間的にまとめ、今後の研究を進めるための課題をした。

2 調査結果

当センターでは、夜叉ヶ池の水質調査を昭和61年度(1986)、平成6年(1994)、平成9年(1997)からは毎年実施してきた。各年度の調査結果を環境科学センター年報から収集し、表1にまとめて掲載する。

3 pH

表1に示したpHについては、1986年度は7月から10月までで5.5~6.1の間を、1994年度は7月から翌年度4月までで4.7~5.8の間を変動していた。

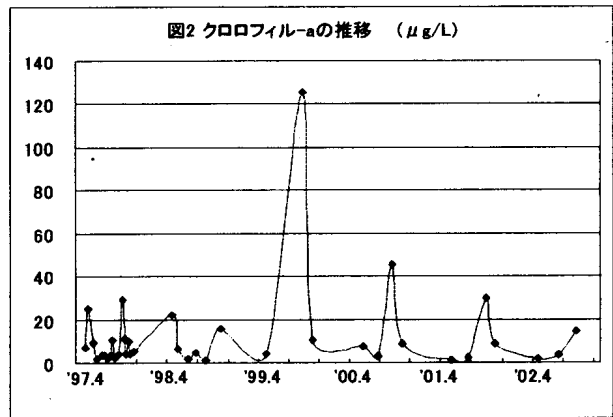


1997年から2002年までのpHの時系列を図1に表す。1997年には約10日間隔で18回測定しており、4.9~5.7の間で変

動した。1998~2000年度まではpHが年間で上下を繰り返した。2000年度までは年間変動が0.5程度観測されたのに対して、2001、2002年度は変動が0.1程度と少なかった。この期間、pHは1997~2000年に上昇し、2001~2002年に下降停滞した。

4 クロロフィル-a

湖水pHの変動要因を探るため、プランクトン増殖の指標であるクロロフィル-aの変動について図2に示す。

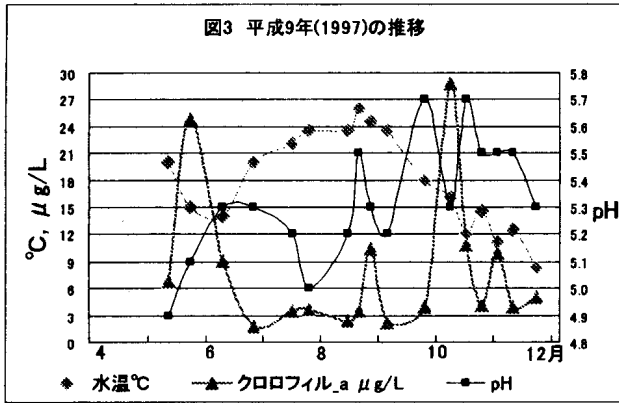


1999年9月末には富栄養湖なみのクロロフィル-a濃度を観測された。1999~2000年にかけてのクロロフィル-aのピークはpHのピークと対応しているように思われる。また、年間の変動を見ると、クロロフィル-aは毎年、秋から初冬に極大になっていた。最大ピークの1999年には、黄緑色藻の*Botryococcus braunii*、渦鞭毛藻の*Ceratium hirundinella*などが確認された。¹⁾

1997年のpH-クロロフィル-a-水温の関係を図3に示す。

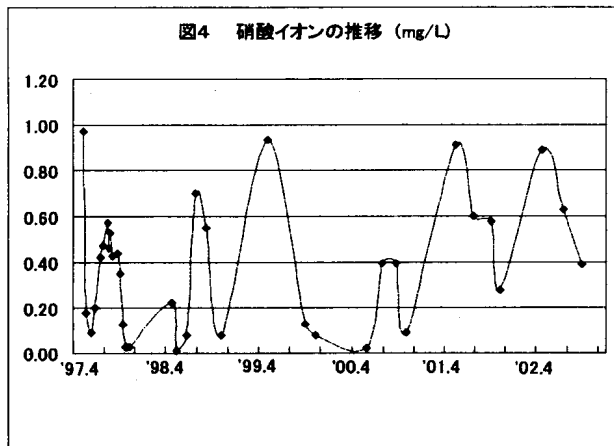
年間を通じた大きな変動として、夏から冬にかけての水温降下時期にクロロフィル-a濃度の上昇が見られた。

プランクトンの増殖を抑制するほどには湖の水温が低い時期に、湖水が夏の弱い成層状態から秋の循環状態になり下層から栄養塩が供給され、プランクトンが増殖するためと考えられる。



5 硝酸イオン

図4に示したように、硝酸イオン濃度の推移を見ると1997、1999、2001、2002年は春に高く初冬に向けて低くなる傾向があったのに対し、1998、2000年は夏に極大を示した。なお、1997年は夏に一旦上昇する傾向も見られた。



硝酸イオン濃度が春に高く、夏にかけて低下していることは、冬季の蓄積と生物活動による消費をうかがわせる。しかし、夏の極大の事例は別の要因も考えなければならないことを示唆している。

6 水収支と湖水循環

夜叉ヶ池は水深10m以下の浅型湖沼であり、また、地理的に風がよく吹く地点にあるため、湖内が十分攪拌され、表層と下層の水質的差が特に認められないとされてきた。³⁾しかし、5 クロロフィル-a濃度で示したように、成層期-循環期の交替挙動は考慮すべきであり、湖水の水収支および湖水循環についても考慮する必要があるように思える。

そもそも、夜叉ヶ池には湖水の表流出がなく、降雨・降

雪、地下浸透および蒸発で水は収支している。しかも、平成14年度の経過では調査ごとに水位レベルが大きく変動していた。池の集水域全体の酸性化の影響を検討するためには、湖水量の変動を水収支として把握しておかなければならない。そのためには、水位基準点を定め、調査ごとの水量を確認しておくことが必要と思われる。

7 まとめ

酸性雨の影響に関して、平成9年以来、夜叉ヶ池の水質調査を継続してきたので、これまでの中間的な経過をとりまとめた。

pHの経年変化では、平成9~12年に上昇し、13~14年に下降停滞した。

毎年、クロロフィル-aは、秋から初冬に極大になっており、循環期の下層からの栄養供給が示唆された。

硝酸イオンでは、冬季蓄積による初春の高濃度がうかがえたが、春以降の生物活動による単純な硝酸消費の定式化は当てはまらないように思えた。

池の集水域全体の酸性化の影響を検討するための水収支の把握には、水位基準点を定め調査ごとの水量を確認することが重要である。

以上のように、夜叉ヶ池の酸性雨の陸水影響を調査研究するにあたり、多くの課題が残っている。今後、降雨や日射量、およびプランクトンの詳細な検討を加えながら、モニタリングを継続して行く予定である。

参考文献

- 1) 石倉誠司、坪川博之、山田寿寛、塚崎嘉彦、白崎健一
福井県環境科学センター年報 V01. 29 (1999), p94
- 2) 石倉誠司、片谷千恵子、松崎雅之、白崎健一
福井県環境科学センター年報 V01. 29 (1998), p108

表1-1 夜叉ヶ池の水質

分析項目	年	'86	'86	'86	'94	'94	'94	'95	'97	'97	'97	'97	'97
	採水日	7/9	9/9	10/7	7/21	9/13	11/4	4/28	5/12	5/23	6/9	6/25	7/15
水温	(°C)	17	21.5	16.3	26.4	21.8	10.3	0.5	20.0	15.0	14.0	20.0	22.0
pH	25°C	5.48	6.09	5.8	5.17	5.75	5.82	4.72	4.9	5.1	5.3	5.3	5.2
電気伝導率 (nS/m)	25°C	1.51	1.35	0.81	22.3	19.6	15.7	19.8	2.24	1.75	1.78	1.89	1.62
アルカリ度(pH4.8)	(meq/l)	0.02	0.024	0.024	0.033	0.053	0.069	0.23	<0.001	0.008	0.012	0.012	0.020
アンモニウムイオン(NH4+)	(mg/l)	0.13	0.03	0.03	0.06	0.01	0.01	0.15	0.07	0.02	0.05	0.10	0.15
カルシウムイオン(Ca2+)	(mg/l)	0.43	0.58	0.54	0.55	0.66	0.6	0.38	0.47	0.38	0.38	0.35	0.28
ナトリウムイオン(Na+)	(mg/l)	1.1	0.98	0.91	1.82	2.1	2.06	1.24	2.39	2.26	2.25	2.12	1.85
マグネシウムイオン(Mg2+)	(mg/l)	0.24	0.21	0.2	0.29	0.26	0.28	0.21	0.29	0.27	0.25	0.25	0.20
カリウムイオン(K+)	(mg/l)	0.25	0.28	0.24	0.4	0.47	0.53	0.19	0.36	0.27	0.28	0.24	0.27
全アルミニウムイオン(Al3+)	(mg/l)	-	-	-	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	-	-	-	-	-
硝酸イオン(NO3-)	(mg/l)	0.62	<0.01	<0.01	0.78	0.16	0.03	1.04	0.97	0.18	0.09	0.20	0.42
亜硝酸イオン(NO2-)	(mg/l)	-	-	-	0.03	0.03	0.03	0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
硫酸イオン(SO42-)	(mg/l)	1.21	1.58	1.58	2.7	2.43	2.19	2.13	2.18	2.13	2.22	2.21	2.14
塩素イオン(Cl-)	(mg/l)	2.46	2	2	3.66	3.7	3.17	2.69	3.2	3.1	3.0	2.9	2.5
リン酸イオン(PO43-)	(mg/l)	-	-	-	0.007	0.052	0.02	0.011	0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
溶解有機炭素(DOC)	(mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
化学的酸素要求量(COD)	(mg/l)	1.5	2.6	3.6	2.4	7.2	2.5	1.4	2.5	2.1	2.1	1.4	2.0
クロロフィル量	(µg/l)	1.5	14	6.2	20.9	27.2	4.7	0.4	6.8	24.8	9.1	1.7	3.5

分析項目	年	'97	'97	'97	'97	'97	'97	'97	'97	'97	'97	'97	'97
	採水日	7/24	8/13	8/19	8/25	9/3	9/12	9/22	10/6	10/14	10/22	10/30	11/7
水温	(°C)	23.5	23.5	26.0	24.5	23.5	24.5	18.0	16.0	12.0	14.5	11.2	12.5
pH	25°C	5.0	5.2	5.5	5.3	5.2	-	5.7	5.3	5.7	5.5	5.5	5.5
電気伝導率 (nS/m)	25°C	1.66	1.61	1.54	1.68	1.64	1.47	1.48	1.47	1.42	1.48	1.54	1.62
アルカリ度(pH4.8)	(meq/l)	0.020	0.028	0.032	0.032	0.040	0.032	0.032	0.032	0.032	0.020	0.028	0.020
アンモニウムイオン(NH4+)	(mg/l)	0.01	0.09	0.10	0.09	0.07	0.06	0.06	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03
カルシウムイオン(Ca2+)	(mg/l)	0.31	0.30	0.30	0.33	0.35	0.36	-	0.52	0.44	0.49	0.40	0.38
ナトリウムイオン(Na+)	(mg/l)	1.86	1.67	1.78	1.73	1.76	1.69	-	1.99	1.78	2.95	1.95	1.89
マグネシウムイオン(Mg2+)	(mg/l)	0.21	0.21	0.22	0.20	0.23	0.22	-	0.30	0.24	0.36	0.25	0.25
カリウムイオン(K+)	(mg/l)	0.27	0.32	0.32	0.41	0.40	0.31	-	0.37	0.42	0.43	0.40	0.36
全アルミニウムイオン(Al3+)	(mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
硝酸イオン(NO3-)	(mg/l)	0.47	0.57	0.46	0.53	0.43	0.39	0.44	0.35	0.13	0.03	0.03	0.03
亜硝酸イオン(NO2-)	(mg/l)	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
硫酸イオン(SO42-)	(mg/l)	2.21	2.09	2.02	1.97	1.92	1.80	-	1.84	1.94	1.89	2.23	1.95
塩素イオン(Cl-)	(mg/l)	2.6	2.4	2.5	2.4	2.4	2.4	-	2.2	2.7	2.3	4.3	2.6
リン酸イオン(PO43-)	(mg/l)	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	0.006	0.039	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
溶解有機炭素(DOC)	(mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
化学的酸素要求量(COD)	(mg/l)	2.4	2.4	2.4	2.8	3.0	4.6	3.3	3.3	3.1	3.1	2.6	3.8
クロロフィル量	(µg/l)	3.7	2.3	3.5	10.5	2.2	3.1	3.9	28.8	10.9	4.1	10.0	4.0

表1-2 夜叉ヶ池の水質

分析項目	年	'97	'98	'98	'98	'98	'98	'98	'99	'99	'99	'00	'00
	採水日	11/19	4/21	5/15	6/25	7/27	9/4	11/6	5/6	9/29	11/7	5/30	7/28
水温	(°C)	8.4	15.2	16.0	16.5	20.6	22.4	10.5	11.0	19.9	10.0	15.3	21.0
pH	25°C	5.3	5.36	5.71	5.64	5.27	5.62	5.96	5.57	5.93	5.62	6.13	5.72
電気伝導率 (nS/m)	25°C	1.57	1.79	1.46	1.56	1.63	1.3	1.07	1.98	1.41	1.2	1.82	1.84
アルカリ度(pH4.8)	(meq/l)	0.016	0.02	0.02	0.06	0.02	0.024	0.04	0.014	0.010	0.016	1.0	1.2
アンモニウムイオン(NH4+)	(mg/l)	—	0.12	0.08	0.13	0.56	0.27	0.25	0.38	0.40	0.41	0.02	0.19
カルシウムイオン(Ca2+)	(mg/l)	0.28	0.37	0.35	0.25	0.29	0.31	0.31	0.41	0.33	0.29	0.47	0.33
ナトリウムイオン(Na+)	(mg/l)	1.72	2.24	1.62	1.67	1.35	1.12	0.9	1.81	1.36	1.26	2.15	1.82
マグネシウムイオン(Mg2+)	(mg/l)	0.23	0.29	0.19	0.22	0.19	0.21	0.18	0.26	0.18	0.18	0.28	0.23
カリウムイオン(K+)	(mg/l)	0.15	0.26	0.24	0.32	0.29	0.27	0.29	0.26	0.41	0.31	0.27	0.29
亜アルミニウムイオン(Al3+)	(mg/l)	—	—	—	—	—	—	—	<0.002	0.011	0.002	0.02	0.06
硝酸イオン(NO3-)	(mg/l)	—	0.22	0.01	0.08	0.7	0.55	0.08	0.94	0.13	0.08	0.02	0.39
亜硝酸イオン(NO2-)	(mg/l)	—	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.06	<0.01	<0.01
硫酸イオン(SO42-)	(mg/l)	1.95	2.04	1.85	2.2	2	1.82	1.48	1.87	1.55	1.49	1.82	1.95
塩素イオン(Cl-)	(mg/l)	2.5	3.59	2.32	2.81	2.19	1.68	1.43	3.28	2.07	2.21	3.25	2.97
リン酸イオン(PO43-)	(mg/l)	—	0.006	0.001	0.004	0.004	0.006	0.004	0.003	0.036	—	<0.001	0.005
溶解有機炭素(DOC)	(mg/l)	—	—	—	—	5.4	1.5	1.8	—	1.3	2.1	1.0	2.0
化学的酸素要求量(COD)	(mg/l)	2.3	2.1	1.6	1.9	2.2	3.4	3.6	1.7	6.3	2.5	1.2	0.6
クロロフィル量	(μg/l)	5.0	21.9	6.2	1.5	4.6	1.3	15.4	3.9	125.4	10.60	7.3	3.1

分析項目	年	'00	'00	'01	'01	'01	'01	'02	'02	'02
	採水日	9/21	10/31	5/17	7/25	10/4	11/8	4/26	7/18	9/27
水温	(°C)	22.0	11.0	14.5	24.1	14.9	8.3	4.1	20.6	14.8
pH	25°C	6.02	5.46	5.39	5.39	5.43	5.34	5.52	5.40	5.49
電気伝導率 (nS/m)	25°C	1.74	1.84	2.39	2.07	1.78	1.85	2.31	1.83	1.73
アルカリ度(pH4.8)	(meq/l)	1.0	0.8	0.015	0.016	0.019	0.015	0.029	0.022	0.018
アンモニウムイオン(NH4+)	(mg/l)	0.10	0.01	0.21	0.19	0.11	0.01	0.29	0.37	0.05
カルシウムイオン(Ca2+)	(mg/l)	0.36	0.45	0.60	0.44	0.42	0.51	0.42	0.36	0.44
ナトリウムイオン(Na+)	(mg/l)	1.79	1.65	2.84	1.73	1.91	1.70	2.34	1.77	1.83
マグネシウムイオン(Mg2+)	(mg/l)	0.23	0.26	0.34	0.22	0.26	0.31	0.27	0.19	0.24
カリウムイオン(K+)	(mg/l)	0.30	0.35	0.48	0.31	0.31	0.35	0.27	0.37	0.23
亜アルミニウムイオン(Al3+)	(mg/l)	0.04	0.03	<0.02	0.02	<0.02	0.02	0.04	0.02	0.02
硝酸イオン(NO3-)	(mg/l)	0.40	0.09	0.91	0.60	0.58	0.28	0.89	0.63	0.39
亜硝酸イオン(NO2-)	(mg/l)	0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
硫酸イオン(SO42-)	(mg/l)	2.03	2.29	2.75	2.26	2.24	2.35	1.93	2.05	2.07
塩素イオン(Cl-)	(mg/l)	2.81	2.51	4.21	2.69	2.57	2.78	3.35	2.57	2.61
リン酸イオン(PO43-)	(mg/l)	0.001	0.002	<0.003	0.003	0.004	<0.003	<0.003	0.017	0.005
溶解有機炭素(DOC)	(mg/l)	1.6	2.2	—	1.7	—	—	1.1	—	—
化学的酸素要求量(COD)	(mg/l)	4.0	2.4	0.9	2.0	3.6	2.5	1.3	2.4	3.8
クロロフィル量	(μg/l)	45.5	9.0	1.2	2.2	29.7	9.0	1.7	3.7	14.4