

宍道湖，神西湖の水質について

——無機態窒素化合物の含量——

三 木 和 夫

On the Water Quality of Lake
Shinji-ko and Jinzai-ko
——Levels of Mineral Nitrogenous Compounds——

Kazuo MIKI

緒 言

島根県東部に位置する宍道湖，神西湖には，湖の周辺地域から農業排水，工場排水，あるいは家庭の生活廃水が多量に流入して，中海とともに水質汚濁が大きな社会問題になりつつある。農林省の中海淡水化事業も昭和55年には完成する予定になっているが，この事業の完成後，中海，宍道湖の水質がどのように変化するかは，関係地域の重大な関心を集めているところであり，この2つの公共用水域の汚濁を防止する意図もあって宍道湖，中海周辺の流域下水道の計画も着々と進められている。

しかしながら，この流域下水道の二次処理によって有機物による汚濁（SS，BOD等）の進行は防止し得ても，窒素，リン等の栄養塩類の除去は困難で，淡水化された後の閉鎖水域においては，いわゆる富栄養化（eutrophication）の進行が懸念される。

そこで，中海，宍道湖の淡水化の前後の水質を比較，検討する目的で，昭和49年以来宍道湖の栄養塩類（主として窒素，リン等の含量）の動態について調査しているが，今回はその中の無機態窒素の調査結果について報告する。また，宍道湖と比較対照する意味で，神西湖をとりあげ，また参考として松江市内の堀川（京橋川）の調査もおこなったので，併せて報告する。

なお，この研究報告の一部は昭和50年10月の第40回日本陸水学会研究発表会において発表した。

調査および実験方法

1. 調査時期，採水地点と採水方法

調査は昭和49年7月から11月にかけて合計12回おこな

い，採水地点は第1図に示した。宍道湖での採水は，宍道湖大橋の直下で，ほぼ川幅を3等分する2地点の大橋川右岸（水深4 m）と左岸（水深1 m）の2ヶ所でおこない，北原式中層採水器で水深のほぼ半分の深さの位置で採水した。京橋川では中橋の地点で，深さ30cmのところを採水した。神西湖は国民宿舎付近の棧橋の上から直接表面水を採水した。

宍道湖，堀川の試水は直ちに持ち帰り，実験に供したが，神西湖の試水はクロロホルムを数滴入れ，翌日実験に供した。

2. 実験方法

(1) アンモニア態窒素の分析法

宍道湖，神西湖の試水には多量の海水が混入しているので，海水中の微量のアンモニアの定量法として検討されているインドフェノール抽出法によった。¹⁾

(2) 亜硝酸態窒素の分析法

スルファニルアミド溶液と α -ナフチルアミン溶液とを加えて生成するアゾ色素の桃色を比色定量した。²⁾

(3) 硝酸態窒素の分析法

E.D.WOOD等のカドミウム—銅カラム還元法によった。³⁾ 2本のカラムを調製したが，両カラムともその還元能力が約95%であって，ほぼ同程度であることが分かったので，以後の硝酸態窒素の分析にはこの2本のカラムに同一試水を流し，測定結果を平均した。

なお，硝酸態窒素の比色定量にはすべての試料について標準添加法を適用し，カラムの還元能力に多少の変動があっても，硝酸態窒素の定量値に影響しないようにとめた。

実験結果とその考察

1. 総無機態窒素

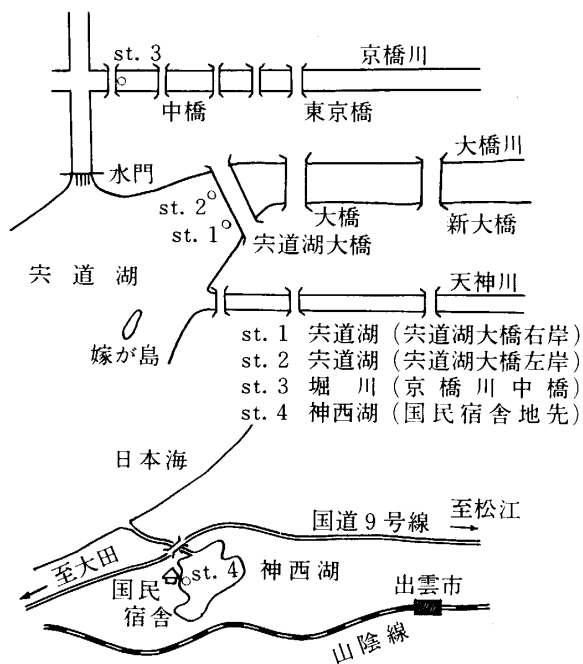
第1表、第2表、第2図に宍道湖(大橋川右岸)、神西湖、堀川(京橋川)の総無機態窒素の濃度を示した。(濃度の表示単位は $\mu\text{g}/\text{l}$, すなわちppb)これらの結果によると、宍道湖では最低値で54ppb, 最高値で226ppb, 平均で139ppb, 神西湖では117~1,440ppb, 平均で452ppb, 堀川では474~3,050ppb, 平均では1,347ppbの総無機態窒素を検出し、堀川が最も多く、宍道湖が最も少なかった。

これらの実験結果について、まず調査時期の気温と各水域の無機態窒素との関係を見ると、宍道湖、神西湖では両者の間にほとんど関係がないが、堀川においては夏期の気温の高いときに、高い窒素レベルを保ち、秋期には低いレベルで推移していることが認められた。これは

気温が水中の有機態窒素化合物(例えばたん白質など)の無機化等、微生物の活動に著しい影響を与えたためと考えられる。

また、調査時期の降雨量と総無機態窒素との関係についてみると、これも宍道湖、神西湖では明瞭には認められなかったが、堀川については明らかに降雨量の多いときには無機態窒素は少なくなっていた。(第2図)

第1図 採水地点

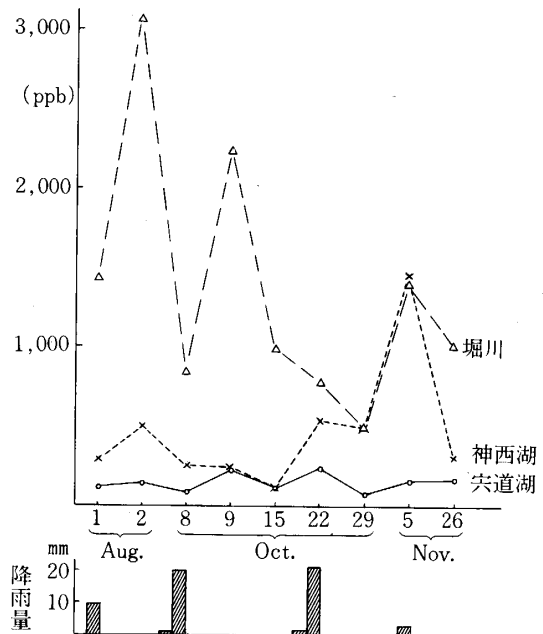


第1表 各水域の平均水質 (ppb)

窒素	宍道湖(大橋川右岸)	神西湖	堀川(京橋川)
アンモニア態窒素	74(53)	205(45)	976(72)
亜硝酸態窒素	4(3)	17(4)	48(4)
硝酸態窒素	61(44)	230(51)	323(24)
総無機態窒素	139(100)	452(100)	1,347(100)

(注) 1) 形態別無機態窒素および総無機態窒素濃度の全調査期間を通じての平均値で示した。
2) ()内は総無機態窒素に対する%を示す。

第2図 総無機態窒素の推移と降雨量



第2表 総無機態窒素 (ppb)

調査月日 (1974)	宍道湖(大橋川右岸)	神西湖	堀川(京橋川)
July 30	208	-	-
Aug. 1	114	280	1,414
2	137	480	3,050
3	155	-	2,610
Oct. 8	86	238	828
9	206	233	2,231
15	119	117	973
22	226	516	762
29	54	469	474
Nov. 5	144	1,440	1,390
12	52	-	775
26	161	294	1,002

(注) 1) 総無機態窒素は $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ の含量である。
2) 各水域での採水地点は次の通りである。
宍道湖……宍道湖大橋直下の大橋川右岸
神西湖……差海川に近い国民宿舎付近
堀川……松江市内の京橋川の中橋

2. 形態別の無機態窒素(NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N)

水中の無機態窒素としてはアンモニア態窒素(NH₃-N), 亜硝酸態窒素(NO₂-N), 硝酸態窒素(NO₃-N)の3つの形態が考えられるが, それらの測定結果を第1表, 第3表, 第4表, 第5表に示した。

第3表 アンモニア態窒素(NH₄-N) (ppb)

調査月日 (1974)	宍道湖 (大橋川右岸)	神西湖	堀川 (京橋川)
July 30	101	21	—
Aug. 1	42	223	1,092
2	56	155	2,520
3	64	—	1,848
Oct. 8	59	129	462
9	188	182	1,680
15	32	84	504
22	126	165	567
29	36	120	350
Nov. 5	105	571	854
12	14	146	483
26	22	218	756

(注) 各水域での採水地点は第2表と同じである。

第4表 亜硝酸態窒素(NO₂-N) (ppb)

調査月日 (1974)	宍道湖 (大橋川右岸)	宍道湖 (大橋川左岸)	神西湖	堀川 (京橋川)
July 30	12	11	—	168
Aug. 1	8	7	8	82
2	7	8	29	168
3	8	8	—	136
Oct. 8	2	—	20	36
9	1	6	10	69
15	6	7	11	15
22	tr	tr	1	tr
29	2	3	19	16
Nov. 5	5	4	33	10
12	4	1	15	57
26	4	5	20	40

(注) —は欠測値, trはごく微量で, 比色できない程度を示す。

第5表 硝酸態窒素(NO₃-N) (ppb)

調査月日 (1974)	宍道湖 (大橋川右岸)	宍道湖 (大橋川左岸)	神西湖	堀川 (京橋川)
June 3	18	135	522	285
15	37	35	—	79
25	30	18	365	740
July 30	96	31	58	356
31	50	66	81	197
Aug. 1	64	56	49	240
2	74	58	296	362
3	83	77	—	626
Oct. 8	25	72	89	330
9	17	6	41	482
15	81	78	22	454
22	100	—	351	195
29	16	16	330	108
Nov. 5	34	36	836	526
12	35	15	—	235
26	135	83	56	206

まず, アンモニア態窒素についてみると, 総無機態窒素と同様に堀川, 神西湖, 宍道湖の順に少なくなっているが, 総無機態窒素に対するアンモニア態窒素の存在割合を求めてみると, 宍道湖, 神西湖が53%, 45%と約半分であるのに対して, 堀川は72%と高かった。このことは, 堀川では周囲の家庭から多量の下水が流れこんで, どぶ川化し, 水中の酸素が不足しているために, 各形態の窒素が量的に多いのみならず, とくにその中のアンモニア態窒素の比率が高くなっていると推測される。

次に, 亜硝酸態窒素, 硝酸態窒素についてみると, これらの形態の窒素も堀川, 神西湖, 宍道湖の順に少なくなっている。全調査期間を通じて, 平均水質でみるかぎり, 硝酸態窒素はアンモニア態窒素とほぼ同じレベルであり, 亜硝酸態窒素は両者の5分の1から10分の1のレベルで存在している。しかし, 第3表, 第5表から明らかのように, 総無機態窒素量が同じであっても, 調査時期によってアンモニア態窒素が多いときもあれば, また逆に硝酸態窒素が多いときもあり, そのときの気温, 水温とも関係していろいろである。一般に, 水圏の窒素を含む有機化合物から微生物によって無機化, 生成される最初の無機態窒素はアンモニア態窒素であり, このアンモニア態窒素が水中溶存酸素の存在下で酵素的に酸化されて亜硝酸態, 硝酸態窒素に変るために, 各形態別の無機態窒素は気象, 水質, 汚染源からの距離など様々な環境因子によって複雑な動態を示すことが考えられる。

なお、宍道湖の採水地点が宍道湖大橋の直下の大橋川であることから、水深が4 mの右岸側と水深1 mで、旅館団地の下流にあたる左岸側とは無機態窒素含量に差があることを予想して、硝酸態窒素については、それぞれ別々に採水して測定した。しかし、右岸と左岸の測定値の統計分析 (t検定) の結果、両岸の水質には有意の差は認められなかった。

3. 宍道湖は富栄養湖といえるか

河川とちがって、湖、内湾のように長期間にわたって水が停滞するような水域では、周囲から家庭下水、工場排水などの汚水が処理されることなく直接流入する場合はもちろんのこと、活性汚泥法、撒水汙床法などの二次処理をして BOD 物質を除去した処理水が流入した場合でも、長年月の間には次第に汚濁化が進行し、透明度も低下してくる。いわゆる貧栄養湖から富栄養湖に変わっていくのである。これは流入河川からの供給によって、湖水中の窒素、リンなどの栄養塩類が多くなると、太陽エネルギーを受けて水中の植物性プランクトンが異常発生し、そのために湖の周囲から有機性の汚濁物質の流入がなくても、自ら藻体として莫大な有機物を生産することになるからである。いわゆる淡水における“水の華”、あるいは内湾の“赤潮”の現象がおこるのである。このために、魚が大量に死んで浮き上ったり、それほどではなくても観光価値を著しく低下させることになる。このような、いわゆる湖沼、内湾の富栄養化は、これまでの研究によれば、水中の窒素 (無機態、有機態を含めて)^{4, 5, 6, 7)} が 0.2~0.5ppm, 全リンが0.01~0.03ppmになると起るといわれているが、宍道湖は果して富栄養化しているといえるのであろうか。

いま、本調査の測定項目である無機態窒素に限って、宍道湖と日本の代表的な湖である琵琶湖、霞ヶ浦とを比較してみると、第6表のようになる。^{4, 5)} これをみると、宍

第6表 他の湖沼の無機態窒素 (ppm)

	琵琶湖 (南湖)	霞ヶ浦 (西湖)	霞ヶ浦 (北湖)	宍道湖
アンモニア態窒素	0.02	0.07	0.11	0.07
硝酸態窒素	0.08	0.98	0.75	0.06
計	0.10	1.05	0.86	0.13

道湖の無機態窒素は霞ヶ浦の0.86~1.05ppmとは比較にならないほど少ないが、琵琶湖の0.10ppmよりもやや多い。もちろん、水中の無機態窒素は前述のように環境要因によって大きく変動し、全窒素ほど富栄養化の指標とはならないが、宍道湖の無機態窒素は琵琶湖の南湖とほ

ぼ同様のレベルにあるといえる。今回の調査は窒素の中でも無機態窒素のみであり、有機態窒素も含めた全窒素は無機態窒素の2倍から3倍もあることを考えると⁸⁾、宍道湖は窒素に関してはほぼ富栄養湖の段階に達しているとみて差支えないであろう。しかし、リンについては本年度の調査結果によれば⁸⁾、全リンで0.02ppm, リン酸態リンでほとんど痕跡程度であって、リンに関する限り宍道湖はまだ富栄養湖とはみなされないであろう。つまり、宍道湖の場合、栄養塩類のうちリン成分が富栄養化の制限因子になっているとみることができ、精しいことは本年度の調査結果をみて考察したい。

今後、洗剤、肥料等の使用量が増え、三次処理しない都市下水が宍道湖、中海水系に放流されると、リンが引金役となって、この両水域の富栄養化が徐々に進行することは充分予想できることである。

摘 要

近年、内湾、湖沼の富栄養化現象が大きな社会問題となっているが、今回は宍道湖と神西湖が無機態窒素含量からみて富栄養湖であるかどうかをみるために、昭和49年7月から11月にかけて12回採水して総無機態窒素の時期別変化を追跡、調査した。その結果は次のように要約される。

1. 全調査期間の平均水質でみると、総無機態窒素については、宍道湖で139ppb, 神西湖で452ppb, 堀川で1,347ppbであって、堀川が最も多く、次いで神西湖、宍道湖の順に少なかった。

2. 形態別のアンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素についてみても、いずれも堀川が最も多く、次いで神西湖、宍道湖の順であったが、一つの水域においてはそれら3態の無機態窒素含量は、そのときの気温、降水量の影響を受けて、(アンモニア態窒素) > (硝酸態窒素), または (硝酸態窒素) > (アンモニア態窒素)と、一定の傾向を示さなかった。

3. 本調査によって、無機態窒素についてみる限り、宍道湖、神西湖とも富栄養化していると考えられるが、全窒素、全リンについては本研究に引続いて実施している昭和50年~51年の調査結果をまって明らかにしたい。

参 考 文 献

1) 松永勝彦・西村雅吉：インドフェノール抽出法による海水中のアンモニアの定量，分析化学，20， 993-997 (1971)

2) 小山忠四郎・半田暢彦・杉村行男：湖水，海水の分析，講談社 (1972)，53-58

3) E. D. Wood, F. A. J. Armstrong and F. A. Richards: Determination of Nitrate in Sea Water by Cadmium Copper Reduction to Nitrite, *J. mar. biol. Ass. U. K.* **47**, 23-31 (1971)

4) 前田 修・岩本伸一・山口征矢：霞ヶ浦の富栄養化に関する二三の考察, *陸水学雑誌*, **35**, 53-59 (1974)

5) 西村秀作：びわ湖およびその流出入河川の水質について, *用水と廃水*, **15**, 1,202-1,232 (1973)

6) 西條八束：内湾の富栄養化——三河湾の場合——, *用水と廃水*, **15**, 9-24 (1973)

7) 坂本 充：富栄養化と生物生産, *用水と廃水*, **15**, 25-34 (1973)

8) 三木和夫：宍道湖の水質——主として窒素, リンの含量について, *日本陸水学会第40回大会講演要旨集*, No. 331 (1975)

(昭和51年1月12日受理)