

# 富栄養湖での植物プランクトン発生に及ぼす流入河川の影響\*

—窒素安定同位体比による考察—

進 藤 三 幸\*\*・大 塚 有 加\*\*  
高 松 公 子\*\*・村 上 裕\*\*

キーワード ①ダム湖 ②富栄養化 ③植物プランクトン ④窒素安定同位体比 ⑤同位体分別

## 要 旨

愛媛県で最も富栄養化が進んだダム湖である鹿野川湖において、流入する3河川およびダム湖において $\delta^{15}\text{N}$ 値を連続測定した。3河川の $\delta^{15}\text{N}$ 値の変動は類似するものの、河川水中の窒素濃度とは関係なく、季節的には夏場に低くなった。最も高い $\delta^{15}\text{N}$ 値を示した河川では、生活排水および畜産排水の寄与の高いことが有意に示唆され、ダム湖への3河川の寄与の割合が明らかとなり、今後の対策の根拠となり得た。ダム湖でアオコが発生したときには、表層水中の $\delta^{15}\text{N}$ 値が低下し、表層と下層の懸濁態の $\delta^{15}\text{N}$ 値の関係が逆転して下層の $\delta^{15}\text{N}$ 値が低下したものの、表層と下層の水中、懸濁態の $\delta^{15}\text{N}$ 値のいずれの関係にも有意な関係は認められず、窒素の循環は、底泥、大気も含めた複雑なものであると推察した。

## 1. はじめに

富栄養化が進んだ湖沼では植物プランクトンが異常に増殖し、アオコの発生や淡水赤潮などの水質汚濁を引き起こし、景観の悪化、悪臭の発生及び魚類のへい死などの影響が懸念されている。富栄養化の原因は窒素やリンなどの栄養塩類といわれ、湖沼での挙動が研究されるとともに、集水域においては流入負荷量削減のための様々な対策がとられている。

リンは自然界に広く存在し、生物体を構成する重要な元素であるが、空気中にはほとんど存在が認められず、流入負荷量削減対策の効果が現れやすい。これに対して窒素は、やはり生物体の主要構成元素ではあるが、リンよりもさらに普遍的に

存在し、大気の構成主元素でもある。また、ガス態、無機態、有機態などの諸形態で存在し、環境中での窒素の循環は極めて複雑である。湖沼の中でも酸化還元状態によって形態が変化するとともに、流入河川以外に雨水からも供給される。さらに厄介なことに、藻類によっては空気中の窒素を取り込むことがあり<sup>1)</sup>、富栄養化によるプランクトンの発生を抑制するという観点から、その挙動の詳細な解明が待たれている。

窒素には、質量数の異なる二つの安定同位体、 $^{14}\text{N}$ 、 $^{15}\text{N}$ があり、その同位体の存在比が植物や動物に取り込まれた後の代謝や分解の過程において、同位体分別などによって様々な値をとることが判ってきた。加えて最近、比較的操作が簡単で

\*Influence of River Water upon Phytoplankton's Growth in Eutrophic Lake—Consideration from Nitrogen Isotopic Composition—

\*\*Kazuyuki SHINDO, Yuka OOTSUKA, Kimiko TAKAMATSU, Hiroshi MURAKAMI (愛媛県立衛生環境研究所) Ehime Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science

高精度の測定機器が開発され、自然界での窒素の循環に関する様々な研究で用いられるようになってきている。

筆者らの研究所では、地下水中の硝酸性窒素の由来を解明し、今後の汚染防止対策に資する目的で測定機器を整備し、海底質の同位体比の変遷から施策の効果を把握する研究などへの応用も進めてきた。これらの研究を進める過程で疑問となった水試料の濃縮方法などについては、得られた知見を取りまとめ明らかにしてきたところである<sup>2-4)</sup>。

ここでは、本県南西部を流れる肱川の中流部にある県下で最も富栄養化が進んだ鹿野川湖において、流入負荷量の効果的な削減対策に資するため、約3年に亘り窒素安定同位体比を主体とする調査研究を行い、ダム湖への流入河川の影響度を明らかにするとともに、アオコ発生時のダム湖水中窒素の挙動についても流入河川中の窒素の関係と併せて検討を行ったので、その考察の一部を報告する。

## 2. 調査方法

### 2.1 調査地域の概要

調査対象ダム湖である鹿野川湖およびその流入域を図1に示した。流入河川は3河川あるが、肱川本流の流入負荷が最も大きく、次いで黒瀬川であり、舟戸川は負荷量的には極めて小さい。肱川

本流の西予市野村には、国管理の野村ダムがあるが、野村の生活排水、畜産排水を主体とする負荷はダム下流部において流入し、野村ダムへはさらに上流部の県内有数の米作地帯である西予市宇和の負荷が流入している。いずれのダムの流入域にも、中小の食品関係事業場などがあるが大きな工場・事業場はない。なお、野村ダム湖も富栄養化が進んでいる。表1は、流入3河川の集水域(肱川本流は、野村ダムの上流部でさらに区分)における人口、家畜飼育頭数、浄化槽数、土地利用形態などのフレームである。

### 2.2 窒素安定同位体比

窒素の安定同位体<sup>14</sup>N, <sup>15</sup>Nのうち、<sup>15</sup>Nは<sup>14</sup>Nに対して存在量は極めて僅かである。代謝や分解に



図1 鹿野川湖およびその流入概略図

表1 鹿野川湖に流入する3河川のフレーム

項目		肱川本流			黒瀬川	舟戸川	備考
		野村ダム上流	野村ダム下流	計			
総人口	人口(人)	17,706	9,786	27,492	4,591	1,387	市町村推計人口(H15.12)及び野村町地区別人口(H.15.12.1)
浄化槽設置基数	合併浄化槽(基)	1,068	510	1,578	357	54	浄化槽設置基数一覧(H15年度末現在)及び県浄化槽管理センター調べ
	みなし浄化槽(単独浄化槽)(基)	1,303	975	2,278	507	36	
工場・事業場数	排水量50m <sup>3</sup> /日以上	11	4	15	0	0	平成16年版愛媛県環境白書及び愛媛県環境政策課調べ
	排水量50m <sup>3</sup> /日未満	178	126	304	55	2	
土地利用形態	山林(ha)	9,563	8,682	18,245	11,575	5,825	平成14年度愛媛県統計及び野村町目的別と地区区分(H16.1)
	水田(ha)	1,430	845	2,275	347	147	
	畑・果樹園(ha)	378	940	1,318	84	369	
	その他(ha)	1,882	1,122	3,004	725	830	
	計(ha)	13,253	11,589	24,842	12,731	7,171	
家畜飼育頭数	牛(頭)	1,720	7,196	8,916	2,450	372	平成14年度愛媛県統計年鑑及び愛媛県環境政策課調べ
	馬(頭)	0	30	30	0	0	
	豚(頭)	1,410	5,410	6,820	5,970	0	

よる同位体分別により、これら二つの同位体の存在量に変化しても、同位体比 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ の変化としては数値が小さい。このため、この変動を判り易くするため、ある標準試料に対する同位体比の千分率偏差で表した $\delta$ 値が用いられる。

$$\delta^{15}\text{N} = [(\text{RA}/\text{RS}) - 1] \times 1,000 \text{ ‰}$$

ここで、RAは試料の同位体比( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ )、RSは標準試料の同位体比( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ )であり、窒素の場合は大気窒素を標準試料としている。

これまでの研究では、土壤中で植物や動物が分解し、その後植物吸収、溶脱、脱窒が起こる場合には、分解時に同位体分別が起こり、軽い窒素が先に無機態窒素として利用あるいは放出されることから、土壤中に残った窒素は0より大きな値が得られている。また、動物から排泄される糞尿では、動物体内での代謝あるいは排泄後のアンモニアの揮散により、プラスのかなり大きな値になると言われている。表2には、米山<sup>5)</sup>がこれまでに報告のあった各種試料中の $\delta^{15}\text{N}$ 値を整理したもののからの抜粋を示す。

### 2.3 分析方法

安定同位体分析に必要な窒素量(Nとして約80 $\mu\text{g}$ )を確保するため、水試料は濃縮する必要がある。採水したダム湖及び河川水はGF/Bでろ過し、ろ過水はエバポレーターで数mlまで濃縮した後溶存態として、ろ紙上のろ過残渣は乾燥の後懸濁態として、同位体測定用試料とした。なお、これまでの検討の結果、 $\text{NH}_4\text{-N}$ はエバポレーターによる濃縮の過程で揮散する恐れがあり、この対策としてリン酸緩衝液の添加が効果のあることが判明したので、ダムの下層水などについては濃縮の前段階で $\text{NH}_4\text{-N}$ の存在を確認し、必要に応じてリン酸緩衝液を添加した。

濃縮した測定用試料をスズカップ( $\phi 5 \text{ mm}$ ,  $h 9 \text{ mm}$ )に取り、凍結乾燥の後、折りたんで元素分析計(Thermo Finnigan社製 Flash EA1112)の燃焼管に挿入し、酸素気流中で燃焼させた。なお懸濁態については、乾燥させたろ紙上残渣を掻き取ってスズカップ( $\phi 10 \text{ mm}$ ,  $h 10 \text{ mm}$ )に入れ、折りたんで燃焼管に挿入した。燃焼生成物である窒素酸化物や二酸化炭素などは、キャリアーガスのヘリウムにより還元管に運ばれ、窒素酸化物は窒素に還元される。その後、カラムによりガス

表2 各種試料中の $\delta^{15}\text{N}$ 値

分類	試料	$\delta^{15}\text{N}$ 値
土 壤 (日 本)	水田耕土	+3.1(+0.1~+7.2)
	畑耕土	+5.4(+1.5~+8.1)
	清浄空気 $\text{NO}_3$	-9.3 $\pm$ 3.5
空 気 (米 国)	$\text{NH}_4$	-10.0 $\pm$ 2.6
	エアロゾル $\text{NO}_3$	+5.0 $\pm$ 5.7
	$\text{NH}_4$	+5.6 $\pm$ 5.5
雨 水 (米 国)	$\text{NH}_3$	-5.2 $\pm$ 1.9
	$\text{NH}_4$	-2.5 $\pm$ 1.7
生活排水、畜産排水、混入河川水		+10以上
肥 料	化学肥料	-8~+8 (空気の $\text{N}_2$ に近い)
	$\text{NO}_3$	+1.6
	$\text{NH}_4$	-1.9
	有機質肥料 (動物質)	+10.1 (+2.7~+15.4)

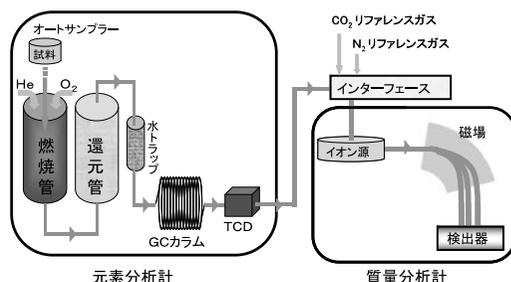


図2 窒素安定同位体比の測定原理

が分離され、質量分析計(Thermo Finnigan社製 DELTA<sup>plus</sup> Advantage)に導入され、質量が28, 29, 30のシグナルを積分して $\delta^{15}\text{N}$ 値が求められる。図2には、 $\delta^{15}\text{N}$ 値の測定原理を示した。

## 3. 調査結果および考察

### 3.1 流入河川の水質および $\delta^{15}\text{N}$ 値

表3は、流入3河川の水質調査結果である。2.1で概説したように、流入3河川の水質は集水域のフレームを反映し、舟戸川が山間の谷川で極めて清浄であるのに対し、肱川本流は汚濁の進んだ都市内河川の様相を呈している。黒瀬川は肱川本流ほどではないが、舟戸川と比べると清浄さは劣る。ちなみに、舟戸川は鮎さらにはアメノウオの生息する河川であり、肱川本流と黒瀬川にも鮎は生息するものの、肱川本流の鮎を食する者はほとんどいない。また、全調査期間中アオコなどの発生は2003年には認められたものの、2004年は記録的な数の台風上陸あるいは接近があり、ダム湖の

表3 流入河川の水質調査結果

水質項目	流入河川名	調査結果												平均
		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
BOD (mg/ℓ)	肱川本流	1.3	0.8	1.1	3.6	1.8	0.9	0.7	0.6	<0.5	<0.5	0.6	0.7	1.1
	黒瀬川	0.9	0.6	0.9	<0.5	<0.5	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.7	0.6	0.6
	舟戸川	0.6	<0.5	0.5	<0.5	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.5
T-N (mg/ℓ)	肱川本流		0.89		0.79				0.75		0.80			0.81
	黒瀬川		0.54		0.36				0.40		0.61			0.48
	舟戸川		0.44		0.51				0.41		0.49			0.46
T-P (mg/ℓ)	肱川本流		0.073		0.067				0.047		0.041			0.057
	黒瀬川		0.054		0.054				0.024		0.027			0.040
	舟戸川		0.022		0.019				0.017		0.018			0.019
流量 (m <sup>3</sup> /s)	肱川本流	3.50	4.66	2.80	1.17	3.82	1.50	6.72	4.37	4.11	3.88	7.94	7.28	4.31
	黒瀬川	1.23	0.84	1.13	0.76	1.98	2.62	2.38	1.80	2.03	1.13	2.89	0.90	1.64
	舟戸川	0.67	0.56	0.67	0.34	2.10	0.87	0.70	0.91	0.62	0.53	1.62	1.05	0.89

平成16年度公共用水域水質測定結果より

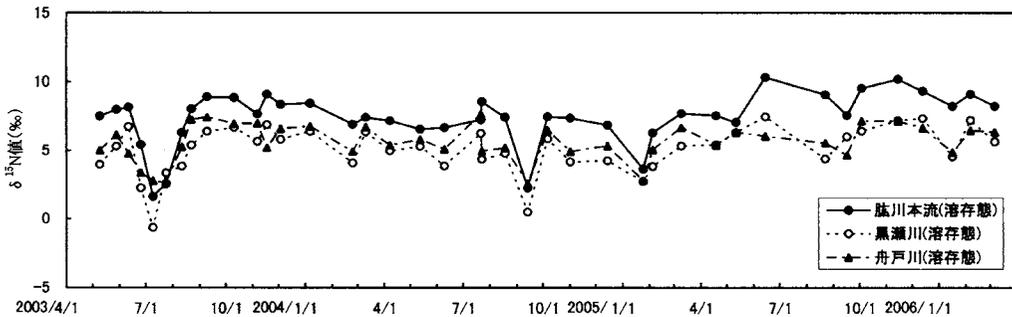


図3 流入河川の溶存態の $\delta^{15}\text{N}$ 値の変化

水も頻繁に入れ替わったためアオコの発生は9月に極く一部で見られた以外観察されなかった。また、2005年も2004年ほどではないが、夏の終わりから秋口にかけて台風による大雨があり、前年水が入れ替わった影響もあってアオコの発生はほとんど認められなかった。

図3には、流入3河川の溶存態の $\delta^{15}\text{N}$ 値の3年間の測定結果を時系列に示した。これによると、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は大きく変動し、特に2003年と2004年には夏から秋口にかけて3河川とも値が低くなるが、明らかな変動傾向はみられない。季節変動をさらに明らかにするため、同じ月の値を平均して時系列化し、結果を図4に示した。これによると、夏場に3河川とも値が低くなる傾向が認められ、特に7月と9月は特異月とも推察される。また、全体的には肱川本流が一年を通じて他の2河川より高い数値で推移している。

### 3.2 流入河川中窒素の由来

図5には、流入3河川の河川水中T-N濃度と

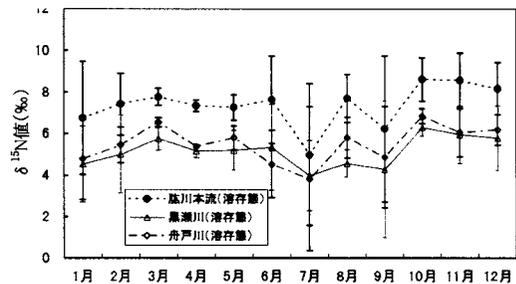


図4 流入河川の溶存態の $\delta^{15}\text{N}$ 値の季節変動

$\delta^{15}\text{N}$ 値の関係を示したが、いずれの河川とも両者の間に関係は認められない。すなわち、河川水の $\delta^{15}\text{N}$ 値は、河川水中の $^{14}\text{N}$ と $^{15}\text{N}$ の比により決定され、窒素の濃度とは関係しない。逆にいえば、河川水中の窒素の由来およびその構成割合(寄与率)が異なるときには、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は異なる値となる。従って、2つの河川の $\delta^{15}\text{N}$ 値に差があり、その差に有意性が認められるときは、生活排水、畜産排水、化学肥料など河川水中の窒素の由来が2河

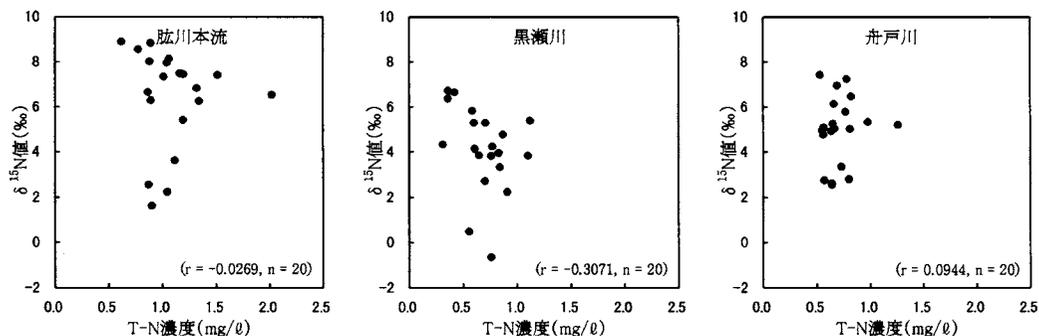


図5 河川水中 T-N 濃度と δ<sup>15</sup>N 値との関係

川で明らかに異なると判断される。

表4には、流入3河川の溶存態の δ<sup>15</sup>N 値の平均値およびその差の検定結果を示した。なお、肱川本流の採水地点はダム湖滞水域に極めて近く、植物プランクトンの発生も見られ、発生したときは当然ながら水中窒素が利用されていると考えられる。このため、溶存態の比較はこの調査日を除いて統計処理した。

これによると、平均値は肱川本流が最も高く7.955、次いで舟戸川が5.960、最も低いのが黒瀬川で5.532となっており、肱川本流と黒瀬川では平均値で2.423の差がある。この差についてt検定を行うと、t値は16.751となり、明らかに肱川本流の方の同位体比が高いと判定される。同様に、肱川本流と舟戸川の δ<sup>15</sup>N 値の差にも1%の危険率で有意性が認められるが、黒瀬川と舟戸川では5%の危険率で有意性が認められるものの平均値の差は小さい。これらのことから、流入3河川は水中窒素の由来である生活排水や化学肥料などの寄与率が明らかに異なっており、特に肱川本流については、黒瀬川や舟戸川と比べて δ<sup>15</sup>N 値が高いことから、生活排水および畜産排水の寄与の高いことが示唆(表2)される。

表5は流入3河川の溶存態の δ<sup>15</sup>N 値の相互の関係をみたものである。平均値の差の検定では、3河川は水中窒素の由来及びその寄与率が明らかに異なる結果となり、このことから3河川の δ<sup>15</sup>N 値の間には相互に相関関係は認められないはずである。しかるに、表5では相互に有意な相関関係(p<0.05)が認められている。すなわち、肱川本流で δ<sup>15</sup>N 値が高い調査月には黒瀬川でも高いということであり、これは、降雨などから供

表4 流入3河川の δ<sup>15</sup>N 値の平均値およびその差の検定(溶存態)

(平均値)

	試料数	平均値	標準偏差
肱川本流	35	7.955	1.042
黒瀬川	35	5.532	1.121
舟戸川	35	5.960	0.903

(検定結果)

	肱川本流	黒瀬川	舟戸川
肱川本流			
黒瀬川	2.423		
	16.751**		
舟戸川	1.996	0.427	
	10.967**	2.715*	

- 1) 上段：平均値の差，  
下段：t 値 (t(0.05)=2.032, t(0.01)=2.728)
- 2) \*\* ; 1%危険率で有意, \* ; 5%危険率で有意

表5 流入3河川の δ<sup>15</sup>N 値の関係(溶存態)

	肱川本流	黒瀬川	舟戸川
肱川本流			
黒瀬川	0.689**		
舟戸川	0.394*	0.596**	

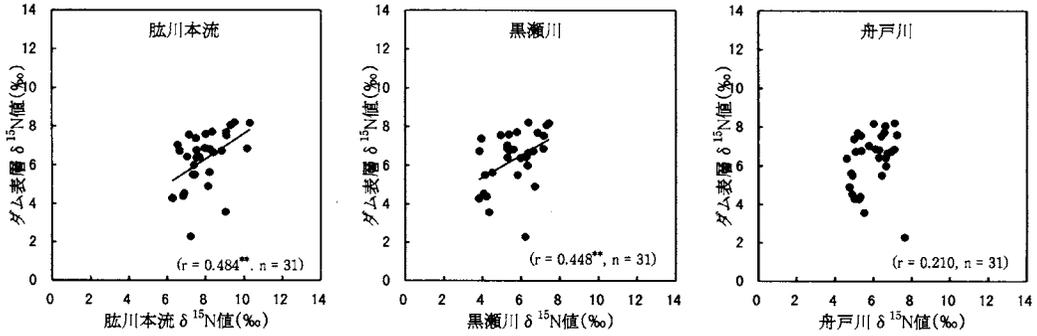
- 1) 数値は相関係数, n=35
- 2) \*\* ; 1%危険率で有意, \* ; 5%危険率で有意

給される窒素が3河川に同じ割合で影響しているなど、水中窒素の由来、寄与率に3河川でさほど変動がないことを意味していると考えられる。

### 3.3 ダム湖に及ぼす流入河川の影響

3河川から流下した河川水は、ダム湖(鹿野川湖；有効貯水量2,980万m<sup>3</sup>)に貯水される。ダム湖に貯水された水の δ<sup>15</sup>N 値がどの河川の δ<sup>15</sup>N 値と最も関係が強いかをみてみると、溶存態(図6)ではダム湖の表層水(0.5m)、下層水(底より5m上)とも肱川本流との間に有意な相関関係がみら

(ダム表層)



(ダム下層)

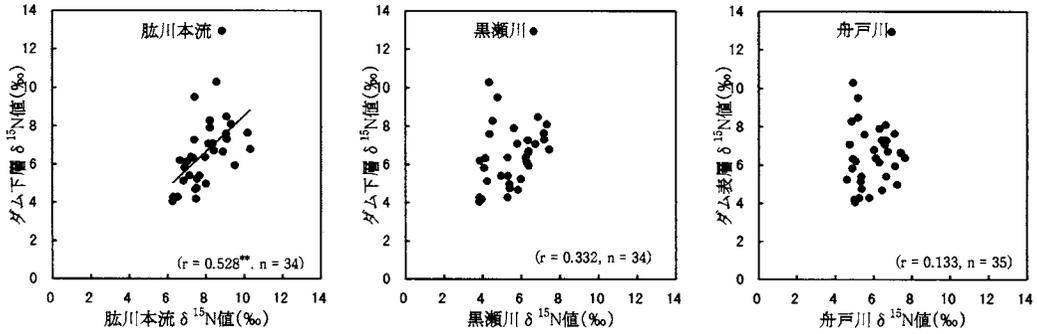
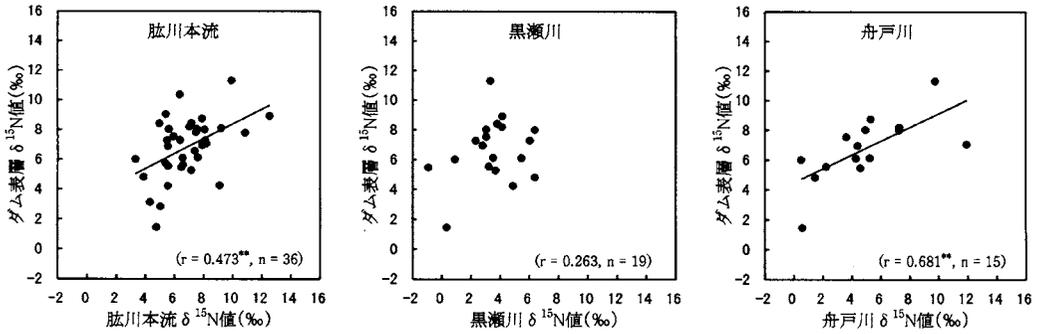


図6 ダム湖水中 $\delta^{15}\text{N}$ 値と流入河川 $\delta^{15}\text{N}$ 値との関係(溶存態)

(ダム表層)



(ダム下層)

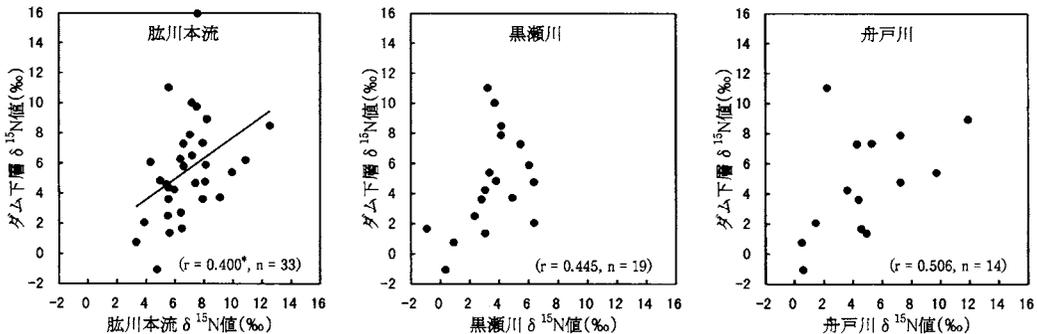


図7 ダム湖水中 $\delta^{15}\text{N}$ 値と流入河川 $\delta^{15}\text{N}$ 値との関係(懸濁態)

れる。黒瀬川とは、表層水において相関関係が認められるが、下層水は関係がみられず、舟戸川とは表層、下層水のいずれも関係が認められない。さらに懸濁態(図7)では、表層、下層水のいずれも肱川本流とのみ有意な相関関係が認められ、肱川本流の $\delta^{15}\text{N}$ 値が変動し、その値が高いときにはダム湖の $\delta^{15}\text{N}$ 値も高いことが明らかなことから、ダム湖の窒素の挙動には肱川本流が強く影響している、換言すれば、ダム湖の窒素対策には肱川本流に流れ込む工場・事業場の排水、都市内小河川対策が極めて重要であることが示唆される。

### 3.4 ダム湖での物質循環とアオコの発生

図8は、3年間に亘って測定したダム湖表層と下層の溶存態の $\delta^{15}\text{N}$ 値を月毎に平均し、表層と下層での季節変動をみたものである。9月から3月にかけては表層と下層で大きな差はみられないが、4月、5月は表層のほうが大きな値となり、逆に夏場の7月、8月は下層のほうが大きな値となっている。山田ら<sup>6)</sup>は、中・富栄養湖での一時期の測定結果による食物網の考察の危うさを、諏訪湖の $\delta^{15}\text{N}$ 値が季節的に大きく変動することから指摘している。このような変動の要因としては、流入河川の影響が先ず考えられ、次いでアオコの発生などによる窒素の取り込み時の同位体分別も考えられる。

ダム湖では、河川から流入あるいは底泥から溶出した豊富な栄養塩の存在のもと、温度、日射などの条件が加わって植物プランクトンが増殖する。ダム湖など淡水湖での $\delta^{15}\text{N}$ 値および形態別窒素の詳細な調査報告は少ないが、海域の表層水では、プランクトンが $\text{NO}_3\text{-N}$ を利用した結果、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は低下し、最表層水の $\delta^{15}\text{N}$ 値は上昇することが知られている<sup>7)</sup>。図9は、2003年の初夏から秋口にかけての表層の $\delta^{15}\text{N}$ 値と表層及び下層の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の変化である。図からは、表層の $\delta^{15}\text{N}$ 値と表層の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の変化がかなり似通っていることが窺われるが、海洋表層水の両者の関係とは全く逆の結果となっている。図10および図11には、2003年の実際にアオコが発生したときの、表層における溶存態と懸濁態の $\delta^{15}\text{N}$ 値の関係および懸濁態の $\delta^{15}\text{N}$ 値の表層と下層との関係を示している。

図10では、表層においてアオコの発生とともに

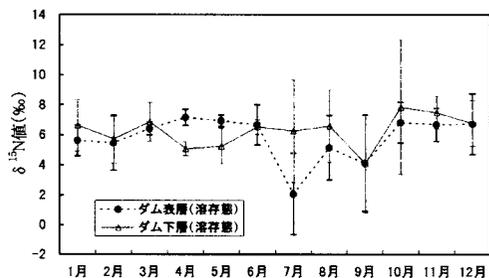


図8 ダム湖溶存態の $\delta^{15}\text{N}$ 値の季節変動

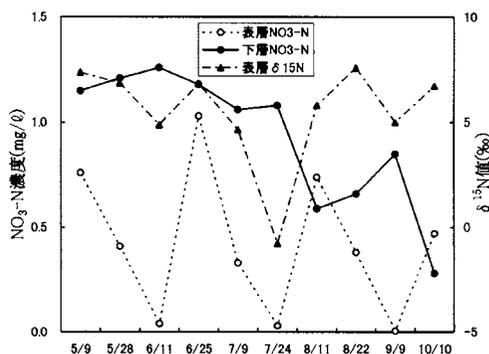


図9 ダム湖における $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度と $\delta^{15}\text{N}$ 値の変動

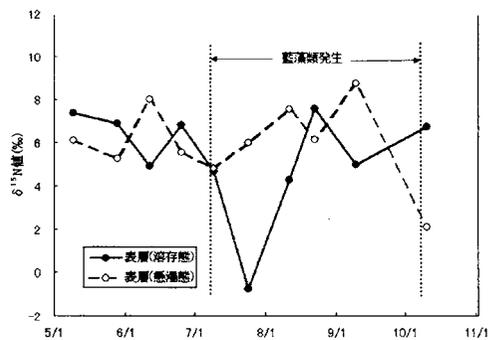


図10 ダム湖におけるアオコの発生と $\delta^{15}\text{N}$ 値の変動

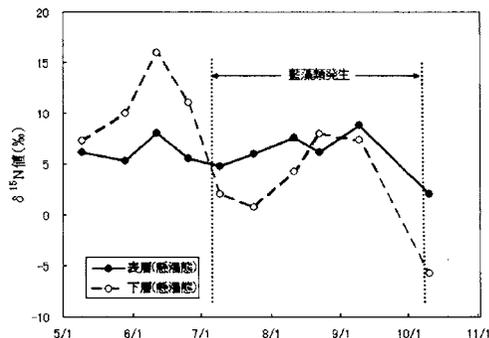
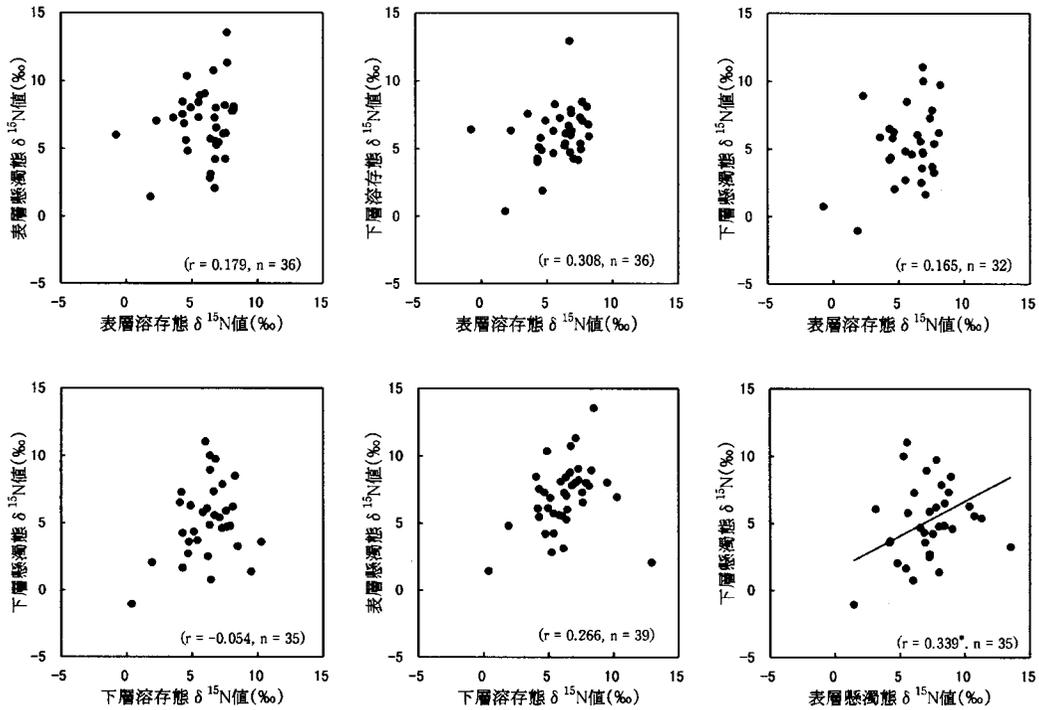


図11 アオコ発生時の懸濁態の $\delta^{15}\text{N}$ 値の変動

図12 ダム湖水中の  $\delta^{15}\text{N}$  値の関係

に溶解態の  $\delta^{15}\text{N}$  値が下がっていることから、水中からアオコに取り込まれるときの同位体分別の可能性が示唆される。

図11では、懸濁態の  $\delta^{15}\text{N}$  値の表層と下層の動きにおいて、アオコが発生している時期には表層と下層の  $\delta^{15}\text{N}$  値が逆転していることから、表層と下層において窒素を含む物質の循環が示唆される。

しかるに、 $\delta^{15}\text{N}$  値と  $\text{NO}_3\text{-N}$  濃度の関係では、アオコが水中の  $\text{NO}_3\text{-N}$  を利用したと考える根拠はみられず、観察結果でも、発生したプランクトンは *Microcystis* が主で空中窒素を利用すると言われている *Anabaena* はほとんど認められていない。

植物プランクトンが水中の窒素を利用すれば、 $^{14}\text{N}$  と  $^{15}\text{N}$  のいずれかを優先的に利用しないときは植物プランクトンの  $\delta^{15}\text{N}$  値は水中の窒素の同位体比を反映し、優先的に利用すれば同位体分別を起こして、何らかの関係がみられるはずである。また、表層と下層においても  $\text{NH}_4\text{-N}$  から  $\text{NO}_3\text{-N}$  への硝化など窒素の形態変化あるいは循

環が行われていると考えられ、これに伴う  $\delta^{15}\text{N}$  値の変化が想定される。

このような観点から、表層水と下層水を溶解態と懸濁態に分けて、 $\delta^{15}\text{N}$  値についてそれぞれの関係をみてみると、表層と下層の懸濁態において5%の危険率で相関関係がみられる以外、相互の関係は認められない(図12)。腋川本流では、溶解態と懸濁態の  $\delta^{15}\text{N}$  値の間に当然ながら有意な相関関係 ( $r=0.483^{**}, n=35$ ) が認められ、懸濁物質として捉えられた植物プランクトンを含む有機性浮遊物質中の窒素と水中窒素の由来、寄与率は密接に関係している。

しかるに、ダム湖ではこのような関係が認められず、この原因としては、ダム湖での水中窒素への底泥からの寄与の有無、表層と下層の物質交換が意外と少なく、むしろ流入河川水が表層を流れるなど河川水との関係の方が強い、植物プランクトンへの空中窒素の取り込みなど色々な要因が考えられる。

なお、前述したようにダム湖でアオコが発生したときには、流入河川の  $\delta^{15}\text{N}$  値が低下する現象

が認められており、流入河川がダム湖に影響することはあってもダム湖が流入河川に影響することは考えられないので、流入河川で $\delta^{15}\text{N}$ 値が低下する何らかの要因がダム湖でのアオコの発生の誘引と推察されるが、この点については稿を改めた。

今回、約3年間に亘って、流入河川及びダム湖での $\delta^{15}\text{N}$ 値の変化を調査し、解析を試みた。 $\delta^{15}\text{N}$ 値の動きから、ダム湖に及ぼす流入河川の影響などについてはある程度解明され、ダム湖でアオコが発生したときの $\delta^{15}\text{N}$ 値の挙動についても現象は把握できた。しかし、ダム湖の底泥も含めた表層と下層との窒素の循環、あるいは植物プランクトンが発生する場合の空中窒素も含めた窒素の循環については明確な説明が出来ていない。湖水中の窒素に対し、堆積物の寄与が表層で45.3%、下層では64.8%になるとの報告もあり<sup>8)</sup>、今後はさらに採取、保存している底泥及び底泥からの溶出試験などを行い、あるいは窒素の形態、濃度を変えた培養試験を行って、空中窒素の取り込み、同位体分別を確認するなど、ダム湖での窒素の挙動と植物プランクトン発生の関係について検討を行いたい。

#### 4. ま と め

愛媛県で最も富栄養化が進んだダム湖である鹿野川湖において、2003年5月から約3年間、毎月、ダム湖に流入する3河川及びダム湖中央の計4地点において、 $\delta^{15}\text{N}$ 値を測定し、ダム湖への3河川の寄与、アオコ発生と $\delta^{15}\text{N}$ 値の挙動などについて考察を行った。その結果、

- (1) 流入3河川の $\delta^{15}\text{N}$ 値の変動は類似し、季節的には夏場に低くなる傾向が認められた。
- (2) 流入河川の $\delta^{15}\text{N}$ 値は河川水中の窒素濃度とは関係なく、河川水中の窒素の由来及びその寄与率と関係すると推察された。
- (3) 流入3河川の $\delta^{15}\text{N}$ 値にはそれぞれ有意な差が認められ、最も高い値を示した肱川本流では、生活排水及び畜産排水の寄与の高いことが示唆された。
- (4) ダム湖の $\delta^{15}\text{N}$ 値の変動と最も強い関係を示

したのは肱川本流の $\delta^{15}\text{N}$ 値の変動であり、ダム湖の窒素対策には肱川本流流域の対策が重要であることが示唆された。

- (5) ダム湖でアオコが発生したときには、表層水の溶存態の $\delta^{15}\text{N}$ 値が低下し、表層と下層の懸濁態の $\delta^{15}\text{N}$ 値の関係が逆転して下層の $\delta^{15}\text{N}$ 値が低下した。
- (6) ダム湖の上層と下層の溶存態、懸濁態の $\delta^{15}\text{N}$ 値のいずれの関係にも有意な関係は認められず、窒素の循環は、底泥、大気も含めた複雑なものであると推察した。
- (7) ダム湖でアオコが発生する時期と流入河川で $\delta^{15}\text{N}$ 値が低下する時期とが一致し、流入河川で $\delta^{15}\text{N}$ 値が低下する要因とアオコの発生の関係が示唆された。

#### 謝 辞

本調査を行うにあたって、大洲保健所衛生環境課(現：八幡浜保健所)および八幡浜保健所環境保全課に採水のご協力を頂いた。また、取りまとめにあたり、愛媛県環境局環境政策課および県浄化槽管理センターには貴重な資料の提供を頂いた。ここに記して深謝いたします。

#### —引用文献—

- 1) 須藤隆一；水環境保全のための生物学，p.242，(株)産業用水調査会，2004
- 2) 宇高有美，高松公子，大和田茂人，吉留竜仁，進藤三幸；窒素の形態による安定同位体比への影響について，第19回全国環境研究交流シンポジウム予稿集，2004
- 3) 高松公子，吉留竜仁，宇高有美，進藤三幸；窒素安定同位体比測定における水試料濃縮方法について，第30回環境保全・公害防止研究発表会要旨集，46～47，2003
- 4) 大和田茂人，津野田隆敏，大瀧勝，山竹定雄；窒素安定同位体比測定における水試料の濃縮法，第14回環境化学討論会要旨集，272～273，2005
- 5) 米山忠克；土壌—植物系における炭素，窒素，酸素，水素，イオウの安定同位体比自然存在比：変異，意味，利用；日本土壌肥料学雑誌，58(2)，252～268，1987
- 6) 山田佳裕，吉岡崇仁；水域生態系における安定同位体解析，日本生態学会誌，49，39～45，1999
- 7) 酒井均，松久幸敬；安定同位体地球化学，322～326，東京出版会，2003
- 8) 上村仁；津久井湖水中の窒素起源推定への安定同位体比の利用，水道協会雑誌，71(1)，36～41，2002