

伊岐佐ダム流入域の窒素汚濁負荷量について

黒木隆浩 庄野節子(*) 北川信吉(**) 野口秀憲(***)

要 旨

集水域に人為的汚染源のない伊岐佐ダムにおいて平成10年、平成11年、および平成12年10月～平成13年9月の3年間、ダムへの流入量・放流量・降水量等を調査し流入量と窒素負荷量の関係式を算出した。その際、夏季の降水影響や、夏季・冬季における日射エネルギーの差を考慮した解析を試みた。その結果、伊岐佐ダムへの全集水域からの窒素原単位量は、H10年は1.74 kg/km²/day、H11年は2.36 kg/km²/day、H12-13年は1.15 kg/km²/day(補正後1.90 kg/km²/day)となり、水田負荷量を差し引いた山林域の原単位量はH10年が1.62 kg/km²/day、H11年が2.24 kg/km²/day、H12-13年が1.03 kg/km²/day(補正後1.78 kg/km²/day)であった。

キーワード：伊岐佐ダム、窒素負荷量、原単位、降雨影響、季節間差

はじめに

伊岐佐ダム湖内における栄養塩類の湖内の挙動調査を前報^{1) 2)}で報告した。流域のほとんどが山林である伊岐佐ダムは湖内の藻類発生に関わる栄養塩としては窒素が律速している。

そこで、ダム湖流入地点(不動橋)における河川の流入量と全窒素濃度との関係から、集水域からダム湖内への窒素流入負荷量およびダム湖内からの窒素放流負荷量の算出を行った。その際、流入点での窒素負荷量を夏季・冬季の季節の差および降水量を考慮に入れて解析を試みた。

調査地点

伊岐佐ダムは、佐賀県相知町北東部に位置し、集水域のほとんどは森林であり、地層は褐色森林土壌で覆われ表層は礫及び砂で、地層は花崗岩が主である。植物は、ヒノキ、スギ、クヌギがほとんどを占め、ヒノキの割合が最も多い。

伊岐佐ダムへの流入河川は、ダム東側から流入する左伊岐佐川とダム北部から流入する北沢(仮称)がある。そこで、分水嶺をたどり左伊岐佐川に流れ込む流域を集水域A、北沢を含むダム北側流域を集水域B、ダム南側流域を集水域Cの3つに伊岐佐ダム集水域を区分した。また、調査地域における窒素の流動と負荷量を把握するために、ダム湖への流入地点(不動橋、St.1)とダム放流口(St.2)において水質調査を行った。伊岐佐ダムおよびその集水域と採水地点を図1に、また、各集水域の面積と土地台帳等から調査した集水域の土地利用形態を表1に示した。

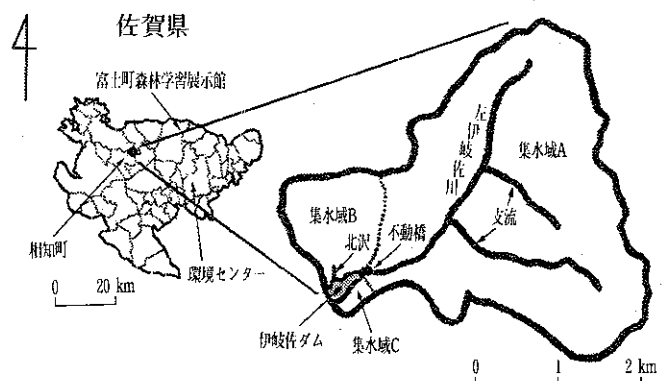


図1 調査地域概要

(*)：現衛生薬業センター、(**)：現業務課、(***)：現佐賀中部保健所

表1 各集水域の面積と土地利用形態

	面積	土地利用形態		備考
		森林	水田	
集水域A	8.19	8.08	0.11	左伊岐佐川流域
集水域B	1.34	1.34	-	ダム北川流域
集水域C	0.08	0.08	-	ダム南側流域
全集水域	9.61	9.50	0.11	-
ダム湖面	0.10	-	-	-

単位：km²

調査期間および調査方法等

ダム湖への流入地点(不動橋)とダム放流口における水質調査結果は、平成10年1月～12月(略称：H10年)、平成11年1月～12月(略称：H11年)及び平成12年10月～平成13年9月(略称：H12-13年)に当センターで測定したものを、伊岐佐ダムにおける流入量・放流量、降水量に関するデータ^{3) 4) 5)}は、伊岐佐ダム管理事務所からの提供をうけた。

また、降水による窒素降下量については、富士町森林学習展示館(調査地域より東北東20 kmに位置し標高約400 m)において当センターが実施している酸性雨調査のデータ⁶⁾を用いた。

解析結果および考察

1. 伊岐佐ダム湖における水収支

(1) 収入

伊岐佐ダム湖への流入源としては、集水域Aを流れる左伊岐佐川が主である。集水域Aからの流入水量は不動橋(St.1)における日流入データ(m³/sec)から算出した。また、集水

域Bおよび集水域Cからダムへの流入は常時流入があるわけではなく、ある一定以上の降水が認められる時にのみダムへの流入が認められる。そこで、不動橋(St.1)における日流入量が1 m³/sec以上認められる時、集水域Bおよび集水域Cからも同等の流入があると仮定し、不動橋(St.1)における日流入量が1 m³/sec以上のときの流入量を足したものに、集水面積比([集水域B+集水域C]/集水域A)を乗じて算出した。また、湖面への降雨による収入は伊岐佐ダム管理事務所において観測された降水量に湖面面積を乗じて算出した。

上記の方法により算出した各水量から、以下の式によってダム湖への全流入量を算出した。

全流入量 = 集水域Aからの流入量 + 集水域BおよびCからの流入量 + 湖面への降雨量

(2) 支出

伊岐佐ダム湖からの流出量は、日放流量(m³/sec)より算出した。

(3) 収支

(1)及び(2)で求めた水収支を表2に示す。

降水量は、H10年2,019 mm、H11年2,159 mm、およびH12-13年1,843 mmであった。調査地域における年平均降水量は2,190 mm⁷⁾であることから、H12-13年はやや小雨であったと思われる。

全流入量は、H10年19,543×10³ m³、H11年20,470×10³ m³、H12-13年16,448×10³ m³

表2 ダム湖における流水量と放流量および流域の降水量

		単位	H10年	H11年	H12-13年
降水量	-	mm	2,019	2,159	1,843
湖面(0.10 km ²)における降水量	①	10 ³ ×m ³	202	216	184
集水域Aからの流入量	②	10 ³ ×m ³	18,321	18,630	15,233
集水域Bおよび集水域Cからの流入量	③	10 ³ ×m ³	1,020	1,624	1,031
ダム湖への全流入量	①+②+③	10 ³ ×m ³	19,543	20,470	16,448
ダム湖からの放流量	④	10 ³ ×m ³	18,523	18,450	15,235
放流量/流入量	④/(①+②+③)	-	0.95	0.90	0.93

であり、降水量の影響を受けた結果となった。放流量は、H10年 $18,523 \times 10^3 \text{ m}^3$ 、H11年は $18,450 \times 10^3 \text{ m}^3$ 、およびH12-13年 $15,235 \times 10^3 \text{ m}^3$ であった。全流入量に対する放流量の比は0.90~0.95の範囲にあり、流入量の1割程度が蒸発散および地下浸透によって失われると考えられる。

2. 日平均流入量の季節分布

不動橋(St.1)における日平均流入量についてH10、11年の流入量を下限値0.1、間隔0.2 m^3/sec で度数分布をとり、流入量クラス毎の年間流量寄与率を夏季(4月-9月)、冬季(1-3月、10-12月)別に計算したものを表3に示した。

中間値計算による両年の年間流入量は、H10年 $18,438 \times 10^3 \text{ m}^3$ およびH11年 $18,922 \times 10^3$

表3 日平均流入量の度数分布と寄与率(H10年、H11年)

		日平均流入量の度数分布				年流量あたりの寄与率				* : 中間値×度数			
		H10年		H11年		H10年		H11年		H10年		H11年	
		夏季	冬季	夏季	冬季	夏季		冬季		夏季		冬季	
		4-9月	1-3月+10-12月	4-9月	1-3月+10-12月	4月-9月		1-3月+10-12月		4月-9月		1-3月+10-12月	
階級下限値	中間値	度数	度数	度数	度数	m*	寄与率%	m*	寄与率%	m*	寄与率%	m*	寄与率%
0.1	0.2	25	59	63	130	5.0	2.3	11.8	5.5	12.6	5.8	26	11.9
0.3	0.4	42	85	16	34	16.8	7.9	34	15.9	6.4	2.9	13.6	6.2
0.5	0.6	47	20	22	13	28.2	13.2	12	5.6	13.2	6.0	7.8	3.6
0.7	0.8	29	9	20	4	23.2	10.9	7.2	3.4	16.0	7.3	3.2	1.5
0.9	1	10	1	20	1	10.0	4.7	1.0	0.5	20.0	9.1	1.0	0.5
1.1	1.2	10	5	9		12.0	5.6	6.0	2.8	10.8	4.9		
1.3	1.4	6	1	5		8.4	3.9	1.4	0.7	7.0	3.2		
1.5	1.6	4	0	8		6.4	3.0			12.8	5.8		
1.7	1.8	1	1	1		1.8	0.8	1.8	0.8	1.8	0.8		
1.9	2	3	1	1		6.0	2.8	2.0	0.9	2.0	0.9		
2.1	2.2	0		3						6.6	3.0		
2.3	2.4	1		4		2.4	1.1			9.6	4.4		
2.5	2.6	0		1						2.6	1.2		
2.7	2.8	1				2.8	1.3						
2.9	3	1		2		3.0	1.4			6.0	2.7		
3.1	3.2	1				3.2	1.5						
3.3	3.4	1				3.4	1.6						
3.5	3.6	1		1		3.6	1.7			3.6	1.6		
3.7	3.8												
3.9	4			2						8.0	3.7		
4.1	4.2			1						4.2	1.9		
4.3	4.4												
4.5	4.6												
4.7	4.8			1						4.8	2.2		
4.9	5												
5.1	5.2												
5.3	5.4												
5.5	5.6			1						5.6	2.6		
5.7	5.8												
5.9	6												
6.1	6.2												
6.3	6.4			1						6.4	2.9		
6.5	6.6												
6.7	6.8												
6.9	7												
7.1	7.2												
7.3	7.4			1						7.4	3.4		
n		183	182	183	182	136.2	63.8	77.2	36.2	167.4	76.4	51.6	23.6
						%				%			
						213.4 $\text{m}^3/\text{sec} \Rightarrow$ 年計				219.0 $\text{m}^3/\text{sec} \Rightarrow$ 年計			
						18,437,760 m^3				18,921,600 m^3			

m^3 であり差は3 %程度と変わらない。分布の内訳をみると、 $0.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ 未満の流入量はH10年には211日、この間の年流入量寄与率は31.7 %である。H11年は243日で、この間の年流入量寄与率は26.8 %にあたる。 $0.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ を超え $1 \text{ m}^3/\text{sec}$ 未満の範囲にH10年は116日あり、これは年流入量寄与率38.3 %にあたる。H11年は80日あるが、年流入量寄与率は28.0 %にあたる。更に $1 \text{ m}^3/\text{sec}$ を超えて $4 \text{ m}^3/\text{sec}$ の範囲の流量はH10年が38日間(年流量寄与率30.0 %)、H11年が37日(年流量寄与率32.2 %)あり、この範囲は同程度になる。H11年のみ $4 \text{ m}^3/\text{sec}$ を超え $7.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ 未満の範囲の流量が5日間あり、その流入量が年流入量寄与率の13.0 %にあたる。H11年は、流量の少ない群が前年より1ヶ月あまり多いことと、5日間で年間流量の13 %もあったことが前年との違いである。少雨の冬季だけ見ると平成10年は年流量寄与率36.2 %、H11年は年流量寄与率23.6 %にあたり、H10年はH11年に比べ10 %あまり多かったことを示す。

3. ダム湖への窒素負荷量の算出

(1) 流入窒素負荷量(kg/day)について

H10年、H11年の不動橋(St. 1)における採水日、実測流入量(m^3/sec)と実測全窒素濃度(g/m^3)と窒素負荷量(kg/day)を表4に示した($n=23$)。流入水の窒素負荷量(kg/day)は、実測流入量(m^3/sec)と実測全窒素濃度(g/m^3)との積から算出した。また、採水時の流入量(m^3/sec)の数値は日平均流入量に置換して考察は実施している。

(2) 低流量時($0.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ 未満)における窒素負荷量(kg/day)の季節による差

H10年、H11年における調査期間のうち降水影響がなく、流量が $0.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ 未満のデー

タが夏季に4、冬季に5ある。窒素負荷量は2群間で比較すると夏季の数値が高い傾向があり、この2群間の窒素負荷量の分散が異なる検定結果が出た(表5)。この理由として、夏季と冬季間では日射量のエネルギーが異なり、流域の生物生産量の差をもたらすことが要因と考えられる。そこで、夏季と冬季の日射量の差を見るために当センター敷地内で実施している全天日射量常時モニタリングのデータからH10年、11年の月日射量を図2に示した。H10年、11年における日射量はそれぞれ、夏季において $15,094 \text{ J}/\text{m}^2$ 、 $15,296 \text{ J}/\text{m}^2$ であり、冬季は $9,706 \text{ J}/\text{m}^2$ 、 $9,648 \text{ J}/\text{m}^2$ であり、夏季/冬季の比は1.56、1.59であった。このデータは平野部のものであり、調査流域は谷間であるので更に季節による差が顕著であると考えられる。また、 $0.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ 未満に占める度数を年間流入量の寄与率で見ると、H10年夏季が寄与率10 %、冬季が21.5 %、H11年夏季は8.7 %、冬季は18.1 %にあたる。この範囲の流量寄与は全体から見ると少ない。

(3) 夏季における多流量時の窒素負荷量と流入量の降雨影響

表4における夏季の流入量と窒素負荷量の散布図(図3)から回帰式を求めた。図3において、①は、H10年及びH11年における夏季の全データ($n=17$)をプロットしたものであり、②は晴日と降雨初日を含む群($n=10$)と連続雨の影響を受けていて降雨初日より低値の群($n=7$)との2群に分けて近似曲線を算出した。②において近似曲線が実測値との誤差が少なくなる原因として、降雨2日目以降の降雨影響を受けた窒素負荷量では雨水による希釈や降雨初日に流域の表土層や河川敷の底層付着物等の窒素成分が剥離流出することなどがあげられる。しかし、この2群間について有意差検定を行ったが差は認められなかった。

表4 St.1での採水時における流入量と窒素負荷量(H10、H11)

採水日	実測流入量 (m ³ /sec)	実測全窒素濃度 (g/m ³)	窒素負荷量 (kg/day)	備考
H11/04/08	0.15	0.13	1.68	晴
H11/05/20	0.16	0.25	3.46	晴
H10/09/07	0.25	0.19	4.08	晴
H10/08/19	0.49	0.31	12.99	晴
H10/07/06	0.86	0.36	26.77	晴
H10/07/16 10:10	0.70	0.28	16.72	降水始め
H10/07/16 13:10	0.92	0.43	34.54	降水 3時間目
H10/07/16 15:10	1.32	0.51	57.76	降水 5時間目
H11/06/24 10:20	2.62	0.87	196.71	降水10時間目
H11/06/24 16:00	2.20	0.79	150.16	降水14時間目
H11/02/09	0.14	0.08	0.92	晴
H11/03/11	0.15	0.13	1.68	晴
H11/01/08	0.16	0.10	1.42	晴
H10/12/14	0.22	0.07	1.34	晴
H10/11/10	0.30	0.09	2.41	晴
H11/07/21	0.42	0.13	4.72	降雨影響2日以降
H10/10/14	0.43	0.16	5.73	降雨影響2日以降
H11/08/24	1.10	0.28	26.61	降雨影響2日以降
H10/06/29	1.26	0.22	23.62	降雨影響2日以降
H11/06/25	2.22	0.35	67.13	降雨影響2日以降
H11/06/30	3.17	0.53	145.16	降雨影響2日以降
H11/08/23	4.25	0.69	254.84	降雨影響2日以降
H11/09/01	3.78	0.43	140.11	降雨影響2日以降

表5 0.5 m³/sec未満流量時における冬季(n=5)と夏季(n=4)の2群間の等分散性の検定

変数	流入量(m ³ /sec)	流入量(m ³ /sec)	差
サンプル数	5	4	-
平均値	0.194	0.263	0.068
不偏分散	0.004	0.026	-
標本標準偏差	0.067	0.160	0.093

等分散性の検定結果	
統計量:F	5.678
自由度1	4
自由度2	3
P値	0.127

変数	流入量(m ³ /sec)	窒素負荷量(kg/day)	差
サンプル数	5	4	-
平均値	0.194	5.552	5.358
不偏分散	0.004	25.624	-
標本標準偏差	0.067	5.062	4.995

等分散性の検定結果	
統計量:F	5702.947
自由度1	4
自由度2	3
P値	0.000

変数	窒素負荷量(kg/day)	流入量(m ³ /sec)	差
サンプル数	5	4	-
平均値	1.555	0.263	1.293
不偏分散	0.304	0.026	-
標本標準偏差	0.552	0.160	0.392

等分散性の検定結果	
統計量:F	11.934
自由度1	4
自由度2	3
P値	0.069

変数	窒素負荷量(kg/day)	窒素負荷量(kg/day)	差
サンプル数	5	4	-
平均値	1.555	5.552	3.997
不偏分散	0.304	25.624	-
標本標準偏差	0.552	5.062	4.510

等分散性の検定結果	
統計量:F	84.164
自由度1	4
自由度2	3
P値	0.001

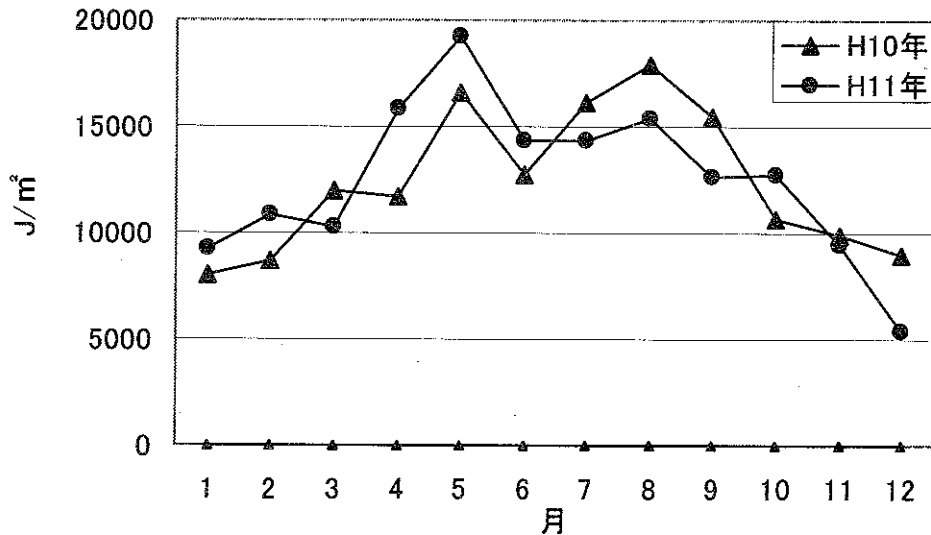


図2 月毎における日射量の推移

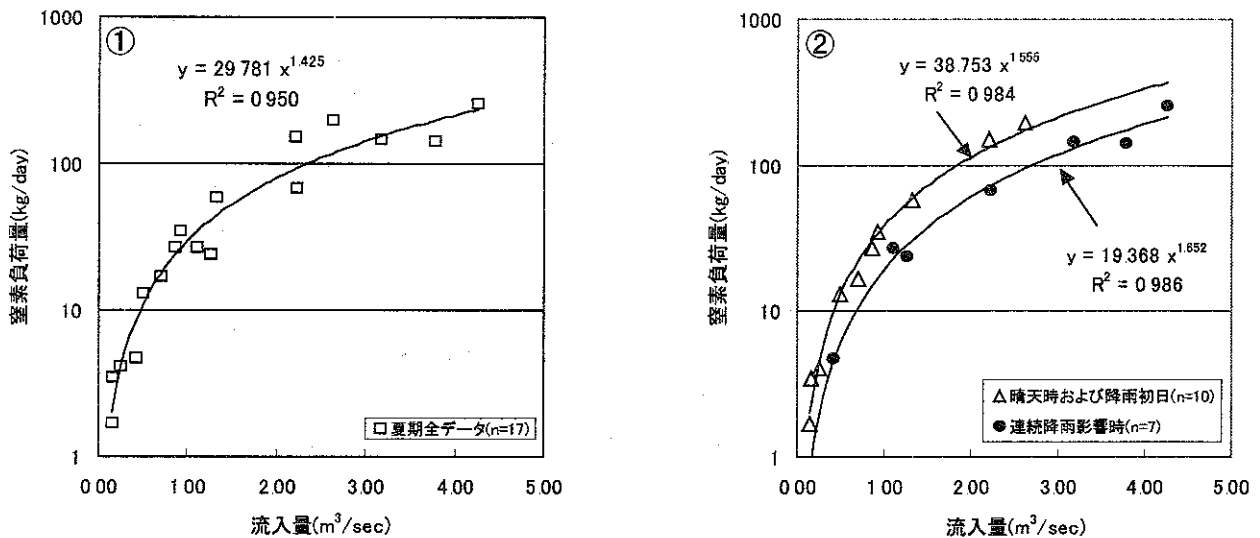


図3 H10年およびH11年の夏期における流入量と窒素負荷量との関係(St.1)

(4) ダム湖への窒素負荷量の算出

伊岐佐ダム湖への窒素流入負荷量は、実測流入水量 (x m³/sec) と実測窒素濃度から算出される窒素負荷量 (y kg/day) の散布図から求められる回帰式に、日平均流出水量を代入することで求めることができる。前項までに、低流量時は夏季と冬季で流入窒素負荷量に差が認められること、また、夏季の多流量時においても精度良く窒素負荷量が算出される可能性が示唆された。そこで、(a)冬季、(b)夏季晴天と降雨初日を含む群、(c)連

続雨の影響を受けていて降雨初日より低値の群に分けて、それぞれ回帰式を求め窒素負荷量を算出しようとした。しかし、晴天時における夏季と冬季において有意差は認められるものの全体に対する寄与率は低いこと、また、夏季においても降雨影響により分けられた2群間に有意差は認められなかったこと、窒素負荷量を算出する際に日流入量をこれらの群に振り分けることは煩雑であり客観性のある振り分け方法が得られなかったことから、H10年およびH11年でのSt.1における全測定値

から流入量と窒素負荷量の散布図(図4)から以下の回帰式(1)を求めた。

$$y = a \cdot x^b$$

$$a = 27.0, b = 1.55, R^2 = 0.955, n = 23 \dots (1)$$

この式では夏季・冬季の季節間差等は無視されるが、窒素負荷量にとって流入量の方が大きい因子であることを示している。この式にH10年、H11年のSt.1における日流入量を代入し、月あたりおよび年あたりの窒素負荷

量を算出した。

同様に、H12-13年における調査についても流入量と窒素負荷量との散布図(図5)から以下の回帰式(2)を求め、H12-13年の日流入量を代入し窒素負荷量を算出した。

$$y = a' \cdot x^{b'}$$

$$a' = 19.8, b' = 1.34, R^2 = 0.947, n = 20 \dots (2)$$

以上によって算出されたSt.1におけるダム湖への流入窒素負荷量を表6に示した。

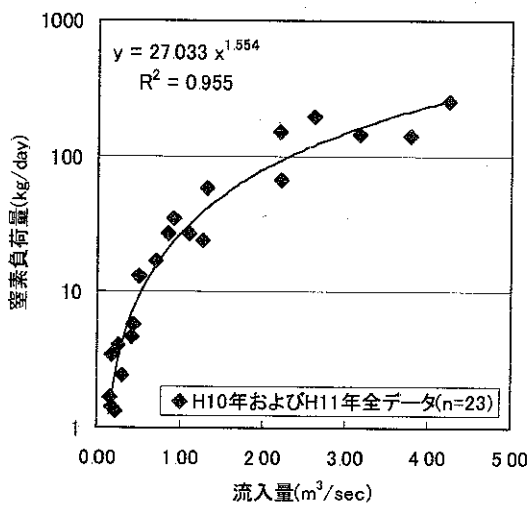


図4 H10年およびH11年における流入量と窒素負荷量との関係(St.1)

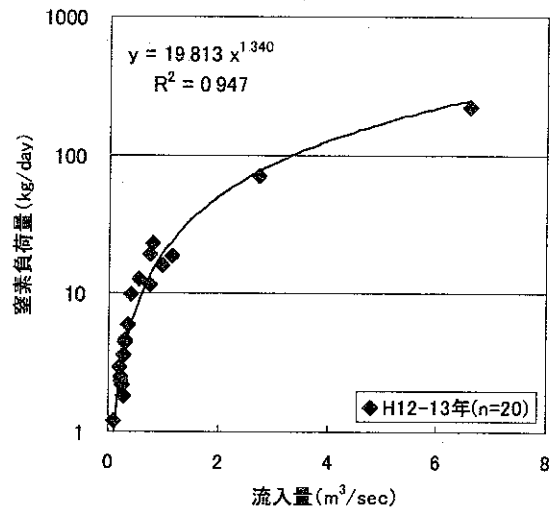


図5 H12-13年における流入量と窒素負荷量との関係(St.1)

表6 St.1におけるダム湖への流入窒素負荷量

平成10年	窒素負荷量
月	kg
1	470
2	206
3	249
4	537
5	856
6	1,417
7	621
8	231
9	155
10	352
11	97
12	71
夏期	3,817
冬季	1,444
計 kg/year	5,261
$y = 27.0 x^{1.55}$	

平成11年	窒素負荷量
月	kg
1	58
2	46
3	61
4	123
5	113
6	1,781
7	2,001
8	835
9	1,553
10	315
11	145
12	76
夏期	6,406
冬季	701
計 kg/year	7,107
$y = 27.0 x^{1.55}$	

平成12-13年	窒素負荷量	
年	月	kg
H13	1	98
	2	102
	3	100
	4	58
	5	97
	6	1,280
	7	852
	8	275
	9	181
H12	10	142
	11	234
	12	84
夏期	2,742	
冬季	760	
計 kg/year	3,502	
$y = 19.8 x^{1.34}$		

H10年は5,261 kg/year(夏季3,817 kg、冬季1,444 kg)、H11年は7,107 kg/year(夏季6,406 kg、冬季701 kg)、そしてH12-13年は3,502 kg/year(夏季2,742 kg、冬季760 kg)であった。H10年とH11年を比較すると降水量の比は0.93(=2,019/2,159)であるのに対し、流入窒素負荷量の比は0.74(=5,261/7,107)である。これは、H11年では6月末～9月間に約1,500 mmのまとまった降雨があり、流入窒素負荷量には、窒素供給源となる降水量の増減もさることながら流入パターンが大きく関与しているためと考えられる。H12-13年における窒素負荷量は、H10年に比べ約3割、H11年に比べ約5割少ない。これは、H12-13年では降水量がH10年・H11年に比べ1割程度少なかったこともあるが、算出に用いた回帰式に因るところが大きいものと思われる。すなわち、回帰式(1)と回帰式(2)と係数を比較すると、 $a'/a=0.73$ 、 $b'/b=0.86$ であり、回帰式(2)の方が低い。これは、回帰式(2)では、流入量が $2 \text{ m}^3/\text{sec}$ 以上におけるデータが少なく、窒素負荷量が少なく見積もられている可能性がある。そこで、H10年、H11年およびH12-13年のSt. 1における全測定値($n=43$)から流入量と窒素負荷量の関係(図6)から回

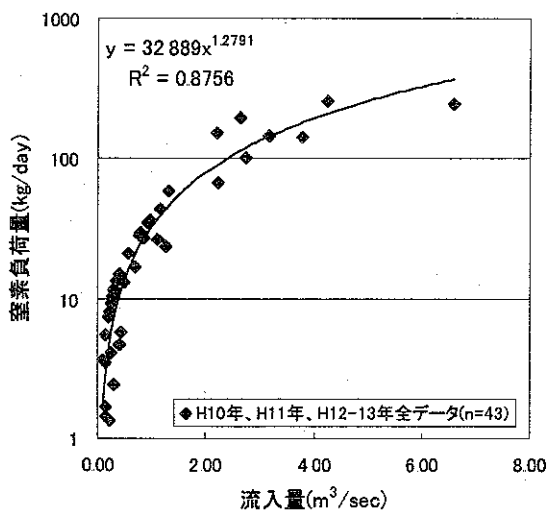


図6 H10年、H11年、H12-13年における流入量と窒素負荷量との関係(St.1)

表7 St.1におけるダム湖への流入窒素負荷量(補正)

平成12-13年		窒素負荷量
年	月	kg
H13	1	180
	2	182
	3	180
	4	107
	5	173
	6	1,957
	7	1,382
	8	471
	9	315
H12	10	250
	11	397
	12	153
夏期		4,404
冬季		1,343
計 kg/year		5,747
$y = 32.9 x^{1.27}$		

帰式(3)を求め、H12-13年の日流入量を代入し窒素負荷量を算出したところ(表7)、5,747 kg/year(夏季4,404 kg、冬季1,343 kg)であった。

$$y = a \cdot x^b$$

$$a = 32.9, b = 1.28, R^2 = 0.876, n = 43 \dots (3)$$

夏季の窒素負荷量は、H10年で3,817 kg、H11年は夏季が6,406 kg、H12-13年は2,742 kg(補正後4,404 kg)であった。H10年とH11年との比は1.67倍で後者が多い。表3に示したH10年とH11年との流量比は1.23でより大である。この2年間の流量パターンが異なることに因るものと推察した。流量の多い時は谷川を降水が一気に流れこむ状態であり、平成11年6月30日の採水時にはダム全体が茶色を呈していたので土砂成分も同時に流し込んでいる。当然であるが今回の数値には土砂成分による負荷は含まれていない。夏季/冬季の窒素負荷量の比率はH10年は2.64、H11年は9.13、H12-13は3.61であり流量パターンの差異が窒素負荷量に大きく影響しているも

のと考えられる。

(5) 降下物(降水、ばい塵)による窒素負荷量

ダム集水域の山林への窒素供給源は主として降下物に因っている。当センターが実施している酸性雨調査において、採取方法はバルク式で常に開放した状態であり、降水と降下ばいじんも採取している。降下物(降水、ばい塵)による窒素負荷量は、次のように算出した。はじめに、月平均のアンモニウムイオン濃度と硝酸イオン濃度を態窒素濃度に換算し、その月における降水量を乗じて毎月の窒素降下量を算出し、年間の窒素降下量を求めた。富士町における平成4年～9年度の6年分の調査による窒素降下量を表8に示した。

原単位の平均値は916 kg/km²/year(平均降水量2,419 mm)であった。ダム流域における降雨中イオン濃度が富士町観測点とほぼ同じとすると、ダム集水域には平均8,802 kg/year(=916 kg/km²/year×9.61 km²)の窒素供給があると考えられる。ダム流域の降水量が調査地と同じとして、富士町における平成4年から9年の降水量の幅は1,600 mm～3,200 mmであるので窒素降下量の範囲は6,800 kg/year～11,600 kg/yearと考えられる。実際、H12-H13年の調査で富士町での酸性雨調査結果と伊岐佐ダムでの降水量から算出した窒素降下量は、7,706 kg/year(降水量1,843 mm)と算出された。

(6) 流域の窒素負荷量および原単位負荷量

3. (4)で得た窒素負荷量は、St. 1における

表9 富士町における窒素降下量

	降水量 (mm)	窒素降下量(T-N)	
		(kg/km ² /year)	(kg/km ² /day)
平成 4年度	2,477	1,054	3
平成 5年度	2,875	792	2
平成 6年度	1,552	710	2
平成 7年度	2,317	953	3
平成 8年度	2,080	785	2
平成 9年度	3,213	1,204	3
年平均	2,419	916	3

流入量から算出しているため、集水域A8.19 km²をカバーしている。残りの集水域(B+C) 1.42 km²を含む山林域からダムへの流入窒素負荷量(山林域の原単位)計算は面積比で算出した。また、傾斜地における水田からの窒素負荷量(10.96 kg/km²/day)は文献値⁸⁾を用い、湖面に直接降り込む窒素量は3. (5)の降下窒素負荷量で算出した平均窒素降下負荷量より算出した。

以上によって求められた窒素負荷量を表9に示した。

H10年のダムへの全流入窒素負荷量は6,108 kg/year、H11年は8,280 kg/year、H12-13年は4,040 kg/year(補正後6,680 kg/year)であった。また、全流入域の窒素原単位量は、H10年1.74 kg/km²/day、H11年2.36 kg/km²/day、H12-13年は1.15 kg/km²/day(補正後1.90 kg/km²/day)となり、水田負荷量を差し引いた山林域の原単位量はH10年1.62 kg/km²/day、H11年2.24 kg/km²/day、H12-13年は1.03 kg/km²/day(補正後1.78 kg/km²/day)であった。

表9 伊岐佐ダム湖における窒素負荷量収支

区分	集水域A	水田	山林域	湖面への降下	全集水域	原単位		備考
	a	b	c	d		f	g	
面積(km ²)	8.19	0.11	9.50	0.10	9.61	全集水域	山林域	
単位	kg/year	kg/year	kg/year	kg/year	kg/year	kg/km ² /day	kg/km ² /day	
H10年	5,261	440	5,668	0.25	6,108	1.74	1.62	
H11年	7,108	440	7,840	0.25	8,280	2.36	2.24	
H12-13年	3,502	440	3,600	0.25	4,040	1.15	1.03	
	5,747	440	6,240	0.25	6,680	1.90	1.78	aは補正值

a: St. 1における流入量と窒素濃度から算出。 b: 集水域Aにある水田からの負荷(文献値)。 c: (a·b)×(8.19+0.11+1.42)/(8.19+0.11)。 d: 湖水への降雨他降下物。 e: b+c。 f: e/9.61/365。 g: c/961/365

(7) ダム湖における窒素負荷量の流入、放流
における収支

伊岐佐ダム湖への窒素放流負荷量は、放流点(St.2)における実測流入水量(x m³/sec)と実測窒素濃度から算出される窒素負荷量(y kg/day)の散布図(図7)から下記の回帰式(4)および(5)を求め、日平均流出水量を代入して求めた。

H10年およびH11年： $y = a \cdot x^b$

$a = 30.9, b = 1.35, R^2 = 0.957, n = 22$ (4)

H12-13年： $y = a \cdot x^b$

$a = 31.3, b = 1.32, R^2 = 0.937, n = 20$ (5)

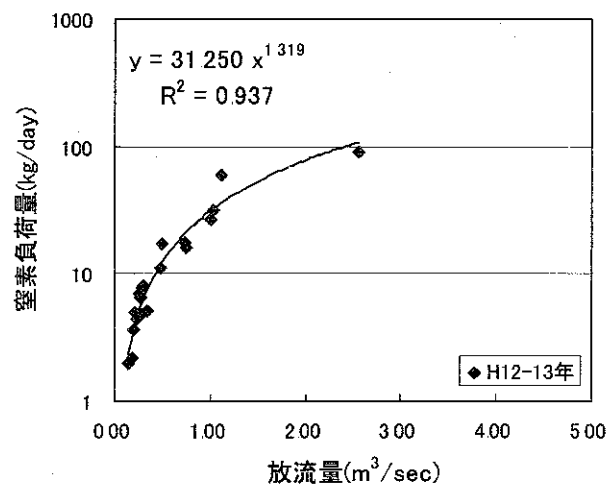
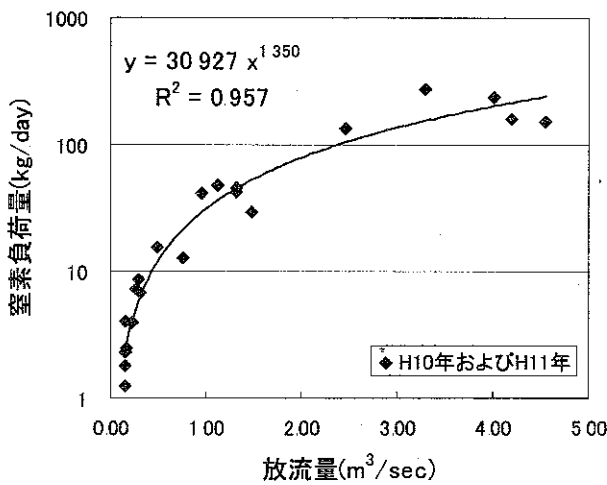


図7 H10年、H11年、H12-13年における放流量と窒素負荷量との関係

表10 放流点(St.2)における窒素負荷量

平成10年	窒素負荷量
月	kg
1	575
2	290
3	330
4	653
5	928
6	1,444
7	723
8	323
9	213
10	448
11	150
12	118
夏期	4,284
冬季	1,910
計 kg/year	6,194
$y = 30.9 x^{1.35}$	

平成11年	窒素負荷量
月	kg
1	97
2	78
3	104
4	176
5	161
6	1,419
7	1,868
8	916
9	1,542
10	416
11	196
12	124
夏期	6,080
冬季	1,016
計 kg/year	7,096
$y = 30.9 x^{1.35}$	

平成12-13年	窒素負荷量	
年	月	kg
H13	1	172
	2	167
	3	157
	4	99
	5	144
	6	1,995
	7	1,315
	8	451
	9	278
H12	10	217
	11	361
	12	145
夏期	4,282	
冬季	1,218	
計 kg/year	5,500	
$y = 31.3 x^{1.32}$		

表11 ダム湖における窒素収支

期 間	流入負荷量 (kg/year)	放流負荷量 (kg/year)	差* (kg/year)	備考
H10年	6,108	6,194	-85	
H11年	8,280	7,096	1,184	
H12-13年	4,040	5,500	-1,460	
	6,680		1,180	流入負荷量は補正值

*：(流入負荷量)-(放流負荷量)

のまとまった降雨があり多流量に遭遇した場合は流入負荷量が放流負荷量より多くなり、そのためダム湖内に蓄積し、H10年のような降雨期の状況の時は流入負荷量より放流負荷量が多くなると推察した。

ま と め

流入量と実測窒素負荷量の関係から得られる伊岐佐ダムへの全集水域からの窒素原単位量は、H10年は1.74 kg/km²/day、H11年は2.36 kg/km²/day、H12-13年は1.15 kg/km²/day(補正後1.90 kg/km²/day)となり、水田負荷量を差し引いた山林域からの原単位量はH10年1.62 kg/km²/day、H11年2.24 kg/km²/day、H12-13年は1.03 kg/km²/day(補正後1.78 kg/km²/day)であった。H10年およびH11年の測定結果から導かれる放流負荷量式と流入負荷量式からの計算値では流量が1.94 m³/secを超えると流入負荷量が放流負荷量より大きくなる(30.9x^{1.35}(放流) < 27.0x^{1.55}(流入))。しかし実際にはダムは放流調整を行っており、同時に同じ流量での比較は不可能である。今回は集水域からの流入窒素負荷量の算出を行ったが、流域の殆どが安定した山林の場合は窒素の供給源は降水物(降水量、ばいじん)である。降水量の多少や降水パターンの差で流入窒素負荷量は変化するが、窒素降下量の範囲に収まる。

伊岐佐ダム湖における藻類発生予防対策の手段については、窒素流入負荷量に問題点はないと思われ、前報で報告したように気象条件による流入量のパターンで湖内の栄養塩が藻類発生に適した時が問題になるため水面の管理にかかっていると考えられる。また、今回得られた山林からの原単位は、気候・植生・地質等の類似する佐賀県内における他のダム湖においても転用できると考えられ、ダム湖水における窒素流動の詳細調査への資料として活用できるものと考えられる。

謝 辞

本調査を進めるにあたり、ダム管理資料等の提供と調査日のポート使用などにご協力いただいた佐賀県ダム対策室および伊岐佐ダム管理事務所に感謝します。

参考文献

- 1) 北川信吉：佐賀県環境センター所報、15、p. 49-60
- 2) 庄野節子：佐賀県環境センター所報、15、p. 61-66
- 3) 伊岐佐ダム管理日報：佐賀県伊岐佐ダム管理事務所
- 4) 伊岐佐ダム管理月報：佐賀県伊岐佐ダム管

理事務所

- 5) 伊岐佐ダム管理年報：佐賀県伊岐佐ダム管理事務所
- 6) 佐賀県酸性雨調査：佐賀県環境センター
- 7) メッシュ気候値2000：気象庁
- 8) 國松孝男・村岡浩爾：「河川汚濁のモデル解析」技報堂出版