

18 九頭竜川水系の窒素とリンについて

—越前海岸海域への窒素とリンの負荷—

前 川 勉 八 木 光 行 田 川 専 照

塩 谷 勝 夫

I 緒 言

九頭竜川は福井県嶺北地方のほとんどの面積を流域とする重要河川であり、その流路延長111 Km、流域面積と流域人口は、それぞれ福井県全体の70%と78%を占めている。流域の汚濁物を集めて越前海岸で日本海に注いでいる。越前海岸は、大規模な工場も少なく、我国有数の美しい海岸である。

筆者らは、日本海に流入する九頭竜川の窒素とリンの現状を把握するために調査を行ってきたが、折しも、昭和52年5月に富山湾から越前海岸にかけて、この海域では記録にない大規模な夜光虫による赤潮が発生した。¹⁾

本報では、九頭竜川水系の窒素とリンの調査結果と、越前海岸への拡散について検討したので報告する。

II 調 査 方 法

1. (1) 九頭竜川の布施田橋、底喰川の調査

昭和49年から昭和53年3月まで一般項目の調査にあわせて、キエルダール窒素と全リンを分析した。

(2) 九頭竜川的主要支川の調査

昭和52年6月、9月、12月、昭和53年2月、3月の5回、九頭竜川水系の主要支川として竹田川(栄橋)、九頭竜川本流(高屋橋)、日野川中流(日光橋)、足羽川(水越橋)、底喰川(三郎丸橋)と九頭竜川下流(布施田橋)の7ヶ所でキエルダール窒素と全リンの分析を行なった。3月の調査では窒素とリンの形態について分析するために、アンモニア性窒素、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素、オルトリン酸についても分析した。

(3) 越前海岸のクロロフィルaの調査

昭和52年度の常時監視として4月、6月、8月、10月の4回、一般項目の分析に加えて調査した。

2. 分 析 方 法

(1) キエルダール窒素(K-N)……硫酸酸性で助剤 $K_2SO_4-HgO(50:1)$ で分解後、水蒸気蒸留したものを硼酸で捕集し、これをインドフェノール法(JIS K0102 又は衛生試験法)で分析。

(2) アンモニア性窒素(NH_3-N)……インドフェノール法(衛生試験法)

(3) 硝酸性窒素(NO_3-N)……サリチル酸ナトリウム法(衛生試験法)

(4) 亜硝酸性窒素(NO_2-N)……Griessの方法

(5) 全窒素(T-N)……計算で K-Nと NO_3-N と NO_2-N の和とする。

(6) オルトリン酸リン(PO_4-P)……リンモリブデン青-ブタノール抽出法(JIS K0102)

(7) 全リン(T-P)……硝酸マグネシウムを加えて乾式灰化後、モリブデン青法

- (8) クロロフィル a ……ガラス繊維ろ紙で濾過したものを90%アセトン水で抽出して、吸光係数から計算で求める(湖水と海水の分析—講談社フィールドワークシリーズ)
- (9) 夜光虫……顕微鏡で同定し、メンブランフィルター上に濾過された夜光虫の個体数を数える。

3. 流 量

各支川の流量は、九頭竜川の類型指定・付属資料および支派川の調査結果²⁾とから、平水流量を求め、これを各地点の流量とし表-1に示した。

表-1 九頭竜川水系の平水流量(m^3/S)

地点	布施田	栄	高屋	日光	水越	三郎丸
平水流量	154	12	93	29	30	3.2

Ⅲ 結果と考察

1. 九頭竜川とその支川の窒素とリン

昭和52年度の窒素とリンの調査結果を濃度の平均値と、平水流量時の負荷量で表わし表-2および図-1, 2に示した。負荷量は、平均濃度と平水流量の積として求め、日単位で表わした。

表-2 九頭竜川とその支川の窒素とリンの濃度および負荷量

地点		布施田	栄	高屋	日光	水越	三郎丸
K-N	濃度	0.42	0.71	0.19	0.49	0.41	12.3
	負荷量	6.47	0.85	1.77	1.42	1.23	3.92
T-P	濃度	0.105	0.118	0.045	0.125	0.083	2.03
	負荷量	1.62	0.14	0.42	0.36	0.25	0.65

濃度については、布施田橋

単位：濃度はppm，負荷量はton/日

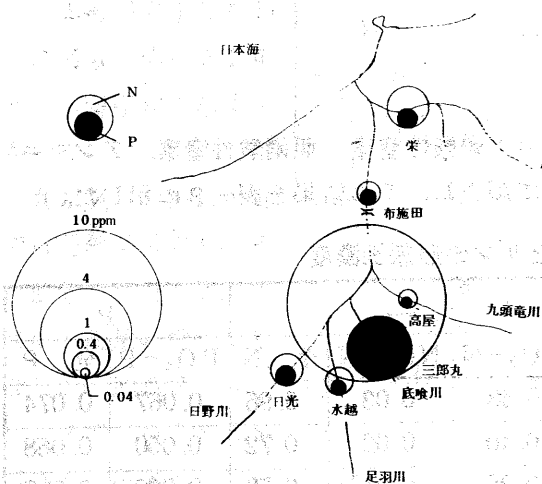


図-1 九頭竜川のN.Pの濃度

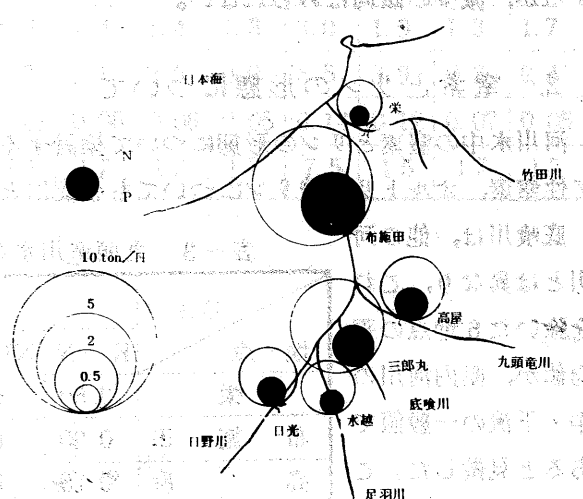


図-2 九頭竜川のN.Pの負荷量

において、ケルダール窒素0.42ppm，全リン0.105ppmであったが、支川では、底喰川が非常に濃度が高く、窒素・リンとも他より10倍以上である。九頭竜川本流では低濃度であるが、足羽川と日野川中流では、布施田橋とほぼ同じ濃度である。

負荷量では、布施田橋でキエルダール窒素 6.5 ton/日、全リン 1.6 ton/日であるが、そのうち、底喰川からの負荷がキエルダール窒素で 60%，全リンで 40%を占めている。これは、有機物の負荷でみられた²⁾ よりかなり寄与が大きい。足羽川と日野川中流、九頭竜川本流の負荷は、ほぼ同じ程度である。

布施田橋における最近 4 年間の窒素とリンの濃度の変化を図-3 に示した。すなわち窒素は低下する傾向があるが、リンは昭和 51 年度を境にして 2～3 倍と高くなっている。一方、水質は BOD と COD にみられるようにやや低下する傾向がみられる。

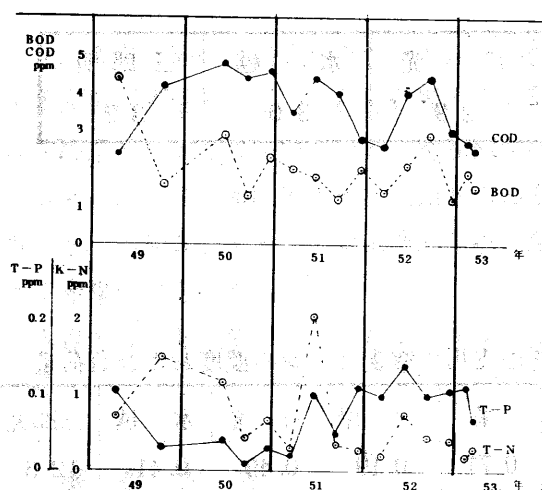


図-3 布施田橋におけるN.P及び有機物濃度の経年変化

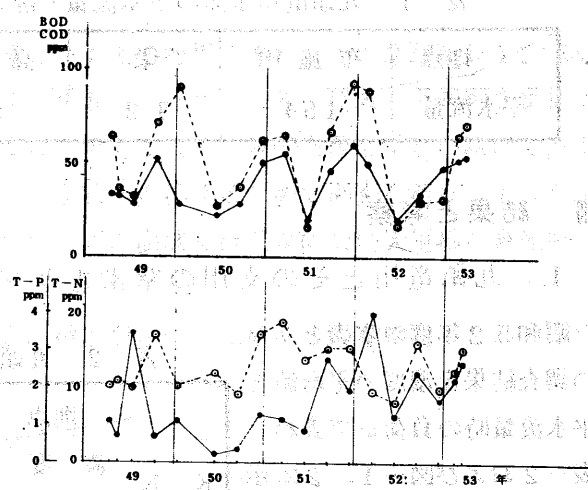


図-4 底喰川のN.Pと有機物濃度の経年変化

負荷量が非常に大きい底喰川は、図-4 に示したように、窒素の濃度変化は少ないが、リンは、布施田橋でみられたように、昭和 51 年を境に上昇がみられた。BOD と COD は周期的に大きく変動するが、減少の傾向はみられない。

2. 窒素とリンの形態について

河川水中の窒素とリンの形態について検討するため、3月に硝酸性窒素、亜硝酸性窒素、アンモニア性窒素、オルトリン酸リンについても各支川と布施田橋で調査し、その結果を表-3 に示した。

底喰川は、他の河川とは異なり、これを除いた 6 地点の平均値が、県内河川の中・下流の一般値であると見做した。この値では、窒素については、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は 0.4 ppm で全窒素の約 60% を占めており、 $\text{NH}_3\text{-N}$ は、約

表-3 九頭竜川水系の窒素とリンの形態別濃度

地 点	N					P	
	K-N	$\text{NH}_3\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$	全 N	$\text{PO}_4\text{-P}$	全 P
栄	0.50	0.32	0.43	0.03	0.96	0.067	0.074
布 施 田	0.30	0.08	0.40	0.02	0.72	0.050	0.068
高 屋	0.15	0.05	0.35	0.01	0.50	0.022	0.025
日 光	0.24	0.10	0.41	0.01	0.66	0.040	0.074
水 越	0.14	0.05	0.41	0.01	0.55	0.026	0.030
三 郎 丸	15.2	14.7	0.14	0.02	15.4	1.94	2.65
三郎丸以外の 5 地点平均	0.27	0.12	0.40	0.01	0.68	0.041	0.054

20%, キェルダール窒素は約40%である。一般に、河川の監視のための窒素分析では、キェルダール窒素を分析してきたが、 $\text{NO}_3\text{-N}$ を窒素源として増殖するプランクトンや微生物も多いので、³⁾ 富栄養化の調査や監視のためにキェルダール窒素だけを分析することは、窒素のサイクルとしては不十分である。

リンについては、全リンの約76%がオルトリン酸であった。一般に、河川のリンの負荷源は、大半、洗剤の中に含まれるビルダーとしての縮合リン酸であると言われているが、河川においては、すでにかなりの加水分解が進んでいることが認められた。⁴⁾

栄橋については、 $\text{NH}_3\text{-N}$ と $\text{NO}_2\text{-N}$ が他より高く、上流の尿尿処理場からの窒素の影響が見られると考えられ、竹田川末端の全窒素濃度のレベルを上げている。

三郎丸では、上流の下水処理場のため非常に高濃度であるが、自然的な負荷と考えられる $\text{NO}_3\text{-N}$ は、他とほぼ同濃度である。又、下水処理場での下水の処理は必ずしもよくないが、窒素とリンについては、ほとんど無機化している。

次にこれらの河川における窒素とリンの形態と濃度を、雨水中の窒素とリンと比較してみた。雨水中の平均濃度は、筆者らの調査結果では、表-4の通りである。⁵⁾ 河川にお

表-4 降水中のN・Pの平均濃度

	$\text{NH}_3\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\Sigma \text{ N}$	Total P
平均値	0.55	0.17	0.01	0.72	0.018

る窒素とリンは、雨水の濃度の、 $\text{NH}_3\text{-N}$ が約1/5と低く、逆に $\text{NO}_3\text{-N}$ は約2倍と高いが、全窒素は、類似している。リンは、河川水の方が約3倍と高い濃度である。雨水の窒素とリンは、河川にそのまま流出することは少ないと考えられるが、その負荷はかなり大きいと考えられる。

3. 越前海岸の水質

越前海岸では、昭和

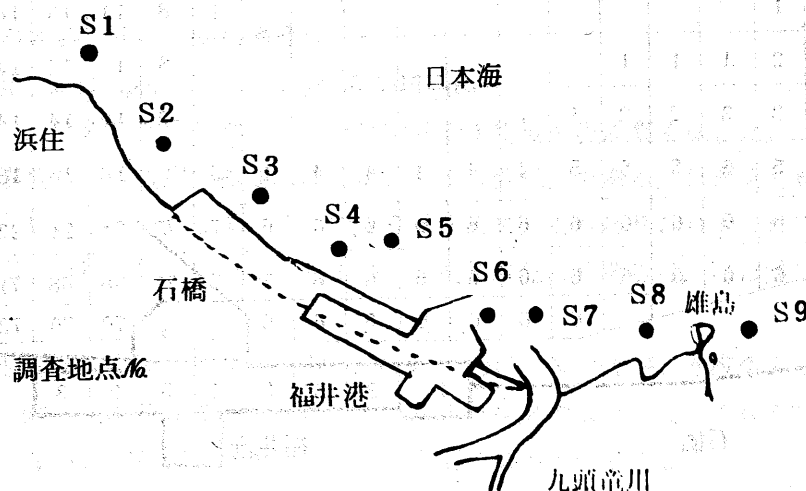
表-5 越前海岸の水質

52年5月に夜光虫による赤潮が発生したが、この海域の昭和52年度の常時監視の結果を表-5に示した。

調査地点	%	S.1	S.2	S.3	S.4	S.5	S.6	S.7	S.8	S.9
C O D	ppm	1.6	1.6	1.4	1.4	1.3	3.0	1.9	1.3	1.7
S S	ppm	0.7	1.7	1.1	2.3	0.9	8.5	3.9	0.3	2.4
クロロフィルa	$\mu\text{g}/\text{l}$	0.09	0.08	0.06	0.06	0.05	0.14	0.12	0.07	0.05
Cl^-	%	18	17	17	17	17	7.5	15	17	17

九頭竜川の河口付近では汚濁が目立ち、その拡散の仕方も海流や河川の流量の変化で異なるが、地点S-6、S-7でCODやS.Sが高く、塩素イオンの分布からも、九頭竜川の流入によるものであることがわかる。

クロロフィルaは、植物プランクトンの指



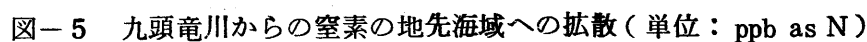
夜光虫は、動物性プランクトンであり、植物性プランクトンやかいあし類の卵を捕食する⁷⁾とされているので、夜光虫が異常発生するためには、前駆状況としてその飼となるプランクトンが豊富に存在し、クロロフィル a 濃度も高いと考えられるが、このクロロフィル a の調査結果では、一般には、植物性プランクトンの密度はそれほど高くないと考えられる。

4. 九頭竜川の窒素とリンの河口付近での越前海岸への拡散の予測

流入する九頭竜川の窒素及びリンの濃度は、昭和52年度の布施田橋と栄橋のギェルダール窒素と全リンおよび平水流量から均等に混合したとして計算で求め、

リン(全リン) 0.106 ppm

とした。この濃度を、九頭竜川の拡散量に比例して分配した結果を、窒素について図-5、リンについて図-6に示した。この値は、海の窒素とリンの濃度に付加される濃度である。



この結果では、九頭竜川の汚濁は、河口が南側に突出しているために、一旦南側に流出し、その後拡散しながら北流によって北上し、東尋坊・雄島方面に向かい、雄島付近で九頭竜の10%が寄与し、ケルダール窒素で0.04 ppm、全リンで0.01 ppm、海の濃度より高くなることになる。南側へは、福井港の防波堤のためにほとんど拡散がなく、その寄与は約1%である。しかし、以上の場合、河口付近の平均的な状況であるので、南流が強くなる場合には、九頭竜川の汚濁がこの南流によって防波堤をこえて拡散してゆき、南流のみの九頭竜川の寄与は、石橋地先付近でも約10%であった。

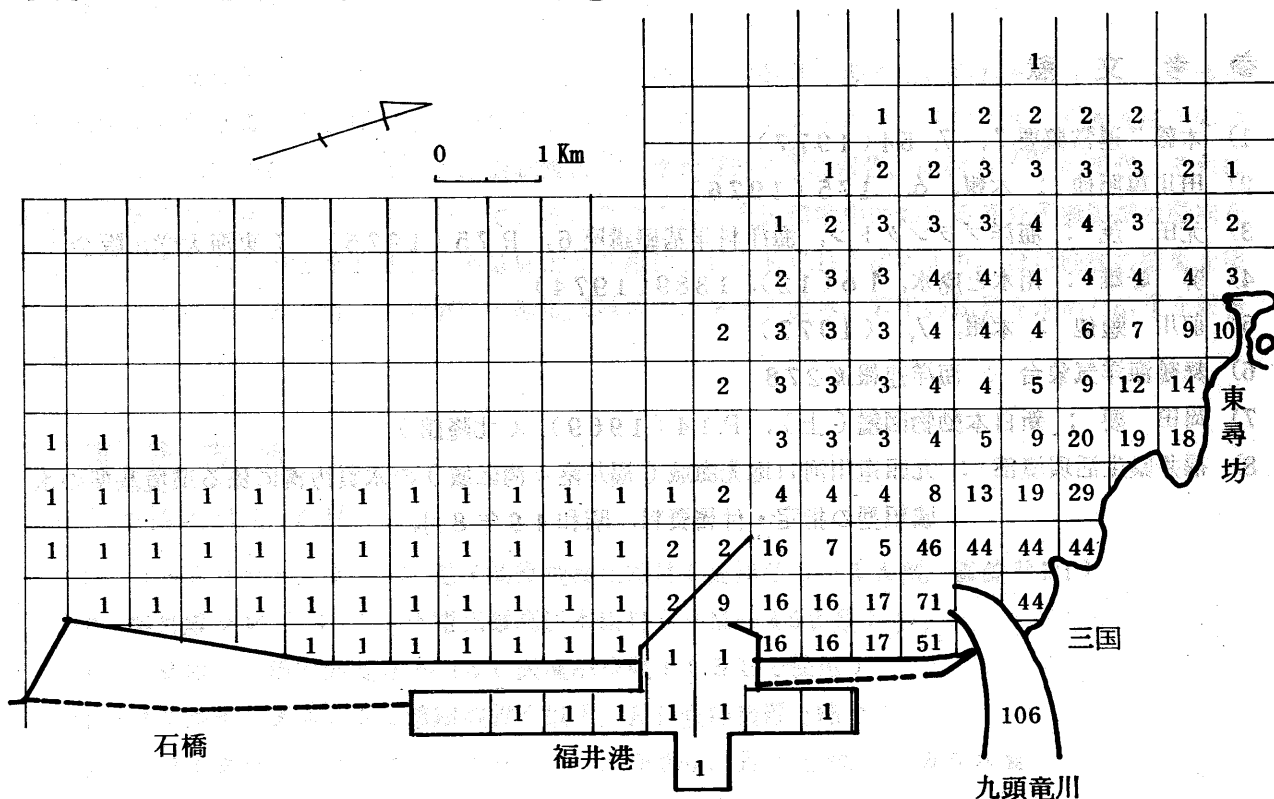


図-6 九頭竜川からのリンの地先海域への拡散(単位: ppb as P)

IV 結 語

九頭竜川の窒素とリンの濃度と平水流量時の負荷量、およびその形態について調査し、河口地先海域への拡散について検討した。

1. 九頭竜川の布施田橋での窒素とリンの平均濃度は

ケルダール窒素 0.42 ppm , 全リン 0.105 ppm

であり、最近の4年間の変化は、窒素は低下したが、リンは昭和51年度を境に高くなった。

2. 九頭竜川の本流の濃度は、底喰川が極端に高く他より10倍以上である。負荷量でも、底喰川は大きく、布施田橋の負荷量の窒素で60%、リンで40%を占め、これはBODやCODの寄与よりもかなり大きい。足羽川と日野川中流(日光)および九頭竜川本流の負荷量は、ほぼ同じ程度であった。

3. 河川水の窒素とリンの形態は、窒素では $\text{NO}_3\text{-N}$ 60%、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 20%、有機窒素 20%であり、リンでは、オルトリン酸リンが76%であった。ケルダール窒素は全窒素の40%にすぎず、富栄養化のための窒素の調査および監視は、ケルダール窒素では不十分である。

4. 雨水中の窒素とリンの濃度は、河川水の濃度と同レベルにあり、雨水は、窒素とリンのかなり

大きな負荷源であることが考えられる。

5. 越前海岸のクロロフィル a 濃度は、 $0.10 \sim 0.27 \mu g/l$ で、これは日本海の一般値よりもかなり低値であり、一般には、夜光虫の飼となるような植物プランクトンは多くないことが認められた。

6. 拡散計算では、九頭竜川の越前海岸への影響は、平均的には、北流にのって雄島付近でも、約 10% である。南側への影響は少ないが、南流が強い時には南流にのって福井港の防波堤の南へも拡散する。

参 考 文 献

- 1) 本報“運営概要”，7, 54 (1977)
- 2) 田川専照他：本報，6, 175 (1976)
- 3) 元田 茂：海洋プランクトン，海洋科学基礎講座 6, P. 75 (1975)，(東海大学出版会)
- 4) 堺 好雄：用水と廃水，16 (12), 1389 (1974)
- 5) 前川 勉他：本報，7, (1977)
- 6) 舞鶴海洋気象台：海洋速報 No. 278
- 7) 岡田 要：新日本動物図鑑 (上)，P. 14 (1969) (北隆館)
- 8) 福井県生活環境部：九頭竜川河口地先海域 (福井港々湾区域) の水質汚濁に係る環境基準の水域類型の指定・付属資料，昭和 49 年 8 月，