

亀田郷地区における水質推定モデルと将来予測

Multiple Regression Analysis model for the water quality estimation and future forecast in Kameda Basin

本間裕美 古川敦子 三沢眞一 吉川夏樹

Yumi HONMA Atsuko KOGAWA Shinichi MISAWA Natsuki YOSHIKAWA

1. はじめに

新潟県の亀田郷地区では、都市化及び農業の近代化の進展に伴い、地区の排水が集中する鳥屋野潟の水質悪化が問題視されるようになった。現在その対応策として浄化用水の導入が行われているが、これは、物質濃度を低下させる効果があるものの、負荷量自体を低減させるわけではない。水質への負荷軽減には、その要因を特定し、それぞれの排出源から負荷量の低減を目指した対策を講じる必要がある。本研究では富栄養化の原因物質である窒素に着目し、それぞれの排出源（人口・農地・畜産）からの負荷量を定量化する水質推定モデルを構築し、モデルによる負荷量の将来予測を行うことを目的とする。

2. 研究対象地区

調査対象地域は、鳥屋野潟に排水が流入する亀田郷地区の南部（面積 8,96ha、人口 21 万人）である。水田 3,716ha、畑地 850ha、住宅その他 4,029ha で構成されている。対象地区を排水区域毎に 15 分割して調査を行った（図 1）。

3. 調査概要

調査期間（4 月～11 月）に各排水区域の排水路末端において月 1 回の流量観測と水質分析を行った。幹線排水路においては水位計を設置し、10 分間隔で水位を記録し連続流量を算出した。代掻き期は通常灌漑期と異なる排出特性が予想されるため、自動採水器により 2 時間おきに採水を行い詳細な水質変動を把握した。また畜産排水に関しては、区域に点在する全畜舎（5ヶ所）の排水採水、流量観測を月 1 回行い、負荷量を測定した。

4. 解析方法

4.1 マニング式を用いた流量推定

幹線排水路の流量推定には以下のマニング式を用いた。

$$Q = A \frac{1}{n} R^{2/3} i^{1/2} \quad (1)$$



図 1. 調査対象の 15 排水区域

A は流水断面積 (m^2), n は粗度係数, R は径深 (m) i は幹線排水路に設置した 2 台 1 組の水位計の実測水位差から求めた水面勾配である。支線排水路に関しては、幹線排水路の連続流量に、定期調査で測定した実測流量から以下の式で求めた流量分配割合 (p) を乗じて算出した。

$$p_i = \frac{Q_i}{Q} \quad (2)$$

ここで、 Q_i は支線排水路流量 (m^3/s), Q は幹線排水路流量 (m^3/s), 添字 i は排水区域番号である。

ただし、各排水路には非灌漑期に浄化用水の導入があるため、灌漑期（4 月～8 月）、非灌漑期（9 月～11 月）とし、時期毎に分配割合を求めて適用した。

4.2 L-Q 式の作成

各排水区域の窒素負荷量を算定するため、定期調査で取得した実測流量および実測負荷量をもとに次式で表される L-Q 式を時期別で作成した。

$$Lr_i = a \times (Qr_i)^b \quad (3)$$

ここで、 a, b は係数, Lr は実測負荷量 (g/s), Qr は定期観測実測流量 (m^3/s) である。

表 1 2009 年度排出源存在密度

区域番号	流域面積 (ha)	人口密度 (人/ha)	農地割合 (ha/ha)	畜産頭数密度 (頭/ha)
1	502	20.13	0.55	
2	340	2.88	0.72	
3	638	3.64	0.74	
4	222	1.63	0.73	1.00
5	261	3.38	0.75	
6	584	6.64	0.62	
7	148	4.83	0.69	
8	878	5.84	0.63	0.14
9	573	38.73	0.30	
10	276	24.34	0.48	2.74
11	617	8.48	0.71	
12	416	6.39	0.66	
13	745	5.17	0.69	
14	482	33.27	0.48	
15	852	50.93	0.17	

4.3 各水路における負荷量の推定

作成した各排水区域の L-Q 式に、連続流量 (Q_e) を代入し、時期別に積算して負荷量 (Le) を算出した。排水区域内で発生した全窒素負荷量 (LS) は、次式により、外部からの流入負荷量を差し引いて求めた。流入負荷量とは、河川から取水した用水および降雨の負荷量を指す。

$$LS_i = Le_i - (Q_e \times co_i + r_i \times cr) \quad (4)$$

ここで、 co は流入用水の全窒素濃度、 cr は降雨全窒素濃度、 r_i は降水量である。

4.4 排出源存在密度

人口密度及び農地割合は、2008 年の調査結果を用いた。畜産頭数密度に関しては江南区役所および畜産農家に聞きとり調査を行い、調査対象地内の全畜産頭数を把握した。排出源存在密度を表 1 に示す。

4.4 重回帰モデルの構築

対象地区の主要な窒素排出源は、人口、農地、畜産であると仮定した。全窒素比負荷量 (Y) を被説明変数、人口密度 (X_1)、農地割合 (X_2)、豚を基準に換算した家畜頭数密度 (X_3) を説明変数として、重回帰モデルを構築した。

$$Y = a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_3 \cdot X_3 \quad (5)$$

ここで、同定する a_1 は人口排出原単位、 a_2 は農地排出原単位、 a_3 は畜産排出原単位である。 Y は排水区域で発生した負荷量 (LS_i) を排水区域面積 (A_i) で除し、単位を $kg/ha/year$ に換算したものである。畜産排出原単位については実測全窒素比負荷量と家畜頭数密度をもとに、実測値から求めた。

5. 結果

5.1 全窒素負荷量の推定

重回帰モデルによって求められた排出原単

表 2 推定モデル結果 (全期間)

	排出原単位 (kg/年)	p 値	排出源存在密度	全窒素比負荷量 (kg/ha/年)
人口	0.78	0.06	23.85	18.6
農地	40	0.008	0.534	21.4
畜産	0.99		0.22	0.22
				40.2

位と亀田郷全域の人口密度、農地割合、畜産頭数密度、全窒素比負荷量を表 2 にまとめる。モデルの p 値は人口が 0.06、農地が 0.008 であった。全期間の全窒素比負荷量は 40.2 (kg/ha/year) となった。

5.2 モデルの検証

重回帰モデルの妥当性を検証するため、モデルによって推定した全窒素比負荷量と、親松排水機場で連続観測した全窒素濃度と排水量から求めた実測比負荷量を比較した。モデルによる推定値は 40.2kg/ha/year であり、実測値は 35.2kg/ha/year であった。5kg 程度推定値の方が大きい結果を得た。この差の要因として鳥屋野瀉における脱窒による窒素の大気放出の可能性がある。

6. 将来予測

推定式を適用し、今後の負荷予測を行った。過去 49 年間の人口変動、20 年間の農地面積変動、1 年間の畜産頭数変動から将来の変動を推定する近似式を求めた。10 年後の存在密度は人口 27.49 人/ha、農地 0.520 ha/ha、畜産 0.006 頭/ha、20 年後は人口 30.95 人/ha、農地 0.509 ha/ha、畜産 0.002 頭/ha となった。10 年後の負荷量は 42.2kg/ha/year、20 年後は 44.5kg/ha/year となり、今後も負荷量は増加する予測となった。

7. まとめ

本研究では、富栄養化の原因となる窒素の排出源 (人口・農地・畜産) からの負荷量を定量化する重回帰モデルを構築した。全期間通して農地からの負荷量流出が全体のほぼ半分を占めていた。

将来予測では、人口は増加傾向にあり、農地も人口とほぼ同等の全窒素比負荷量を排出している。負荷軽減の為には、今後農地及び人口からの排出負荷への対策を講じる必要がある。