

統計的手法による霞ヶ浦流域における窒素負荷原単位の推定 Statistical estimation of nitrogen load basic unit in the Kasumigaura valleys

中田 達、橋本 禅、塩沢 昌

Toru Nakada, Shizuka Hashimoto, Sho Shiozawa

1. はじめに

霞ヶ浦は 1986 年から富栄養化対策として、湖沼水質保全計画を実施し、現在第 4 期（2001～2005）にあたる。湖沼水質保全計画においても霞ヶ浦に流れ込む窒素負荷量は原単位を基本として評価されている。ここで、原単位とは農地や人口、家畜の単位量あたりの流出する窒素量を指す。本来原単位は個々の対象の窒素収支等から実測されるものであるが、流域全体を代表する値を得ることは容易ではない。そこで、本研究では、霞ヶ浦に流れ込む河川において実測された流出負荷量と、GIS によって独自に算定したそれぞれの河川流域の土地利用別面積、人口、家畜飼養頭数をもとに、重回帰分析により推定し、既往研究において示される値と比較することとした。

2. 研究の方法

霞ヶ浦に流れる主要 15 河川の流域界を対象とした。Table 1 に用いたデータの内容を示す。ただし、これらは自治体単位のデータであり、流域ごとのデータに再集計する必要がある。そのため、以下のような方法で、流域データベースを構築した。

Table 1 データの出展

データ内容	データ入手先	年度
流量	茨城県 公共用水域及び	2000
濃度	地下水の水質測定結果	
標高	国土数値情報 50m 標高メッシュ	1981
河川流路	国土数値情報 流路(線)	2001
土地利用	国土数値情報 土地利用メッシュ	1997
市町村界	国土数値情報 行政界(面)	1999
人口	茨城県 国勢調査報告	2000
家畜頭数	茨城県 農業統計センサス	2000

(1) 負荷量の算定と流域界の抽出

負荷量は毎月の流量と全窒素濃度の積とした。また、GIS によって、標高データから分水嶺と谷を判断し、流域界を作成した。

(2) 流域データベースの作成

土地利用メッシュデータは国土交通省の数値地図情報で提供する 3 次 10 分の 1 細密メッシュ図(1997)を使用した。メッシュ 1 辺の長さ

は約 100m である。

流域界と土地利用のデータを重ねあわせ、流域ごとの土地の用途別面積を求めた。(Fig.1)

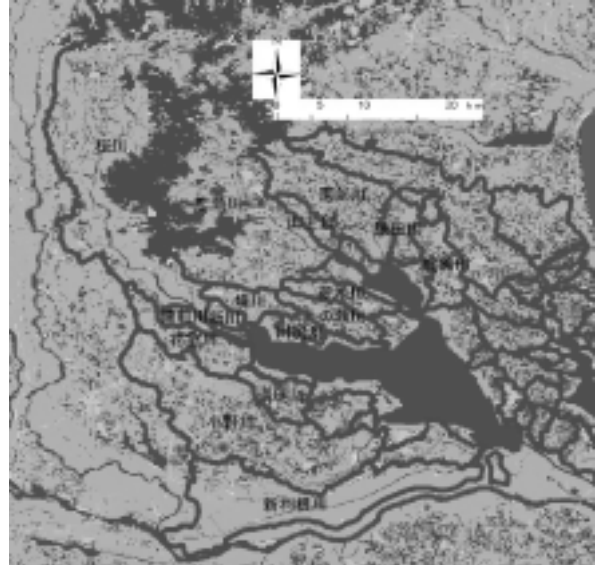


Fig.1 土地利用メッシュ図と流域界の重ね合わせ図

流域ごとの人口・飼養頭数には 2000 年国勢調査による人口、2000 年農業統計センサスによる家畜飼養頭数の値を用いた。流域界と市町村界のデータを重ね、流域ごとの市町村面積を割り出し、その面積割合に応じて振り分けることで算定した。Table 2 に負荷量とともに各流域のデータを示す。

Table 2 各河川の流域データ

	流域面積		水田		畑地		人口 [人]	豚 [頭]	乳牛 [頭]
	[km ²]	負荷 [kg/y]	[km ²]		[km ²]				
恋瀬川	224.7	452504	45.4	20%	51.3	23%	86841	47290	2245
菱木川	21.9	53835	4.8	22%	8.9	41%	3813	1396	252
備前川	10.8	10268	5.3	49%	1.7	15%	9851	343	17
川尻川	8.9	37985	1.7	19%	3.0	33%	3318	545	92
清明川	23.7	68130	5.3	22%	6.8	29%	14229	126	85
新利根川	139.3	174788	90.2	65%	8.3	6%	76901	2877	1822
新川	7.9	26433	2.1	27%	0.7	9%	11241	321	20
小野川	173.7	201373	33.3	19%	51.7	30%	131336	8302	691
山王川	12.9	28521	1.6	12%	3.3	26%	10717	1318	106
桜川	336.7	428322	95.6	28%	58.0	17%	137854	16546	1182
境川	20.6	30451	3.7	18%	4.8	23%	28721	1266	56
梶無川	31.5	38733	5.0	16%	10.0	32%	8133	5087	292
花室川	40.7	123180	5.5	14%	7.0	17%	39828	1360	68
園部川	83.9	406322	15.2	18%	33.6	40%	36857	27592	3498
一の瀬川	25.2	89436	6.7	27%	10.2	40%	7876	1544	266

3. 重回帰分析

本研究では説明変数を農地面積、人口、家畜頭数とする多重線形回帰分析により負荷量を統計的に推定した。流域面積のウェイトを考慮して、被説明変数は比負荷量ではなく負荷量とした。重回帰モデルは河川 $j(j=1\sim 15)$ の負荷量を y_j 、排出源 i の原単位を a_i 、河川 j の流域における排出源賦存量を x_{ij} として、次のように表せる。

$$y_j = \sum_{i=1} a_i \cdot x_{ij} + b$$

負荷量を説明する変数の選択パターンを変え、多重共線性に注意しつつ、何種かの分析を行った。説明変数を検討した結果、Table 3 に排出源を5つと考えた場合の排出源とその単位を示した。

最小2乗法により、各河川に共通なパラメータである原単位 a_i を決定した。説明変数 x_{ij} の大きさも単位も異なるため、最小2乗法を適用する際に x_{ij} の分散を考慮し、標準偏回帰係数によって負荷量への寄与度を判断した。

4. 分析結果

重回帰分析の結果の一例を Table 3 に示す。また、Table 3 の値を用いて得た15河川全体の排出源別負荷量を Fig.2 に示す。

Table 3 重回帰分析結果

i	排出源	補正 R ² 0.928		標準偏回帰係数	t 値
		原単位			
1	水田	[kg/km ² ·y]	1034.1	0.21	1.36
2	畑地	[kg/km ² ·y]	3662.1	0.47	1.88**
3	人口	[kg/人·y]	-0.4	-0.11	-0.42
4	豚	[kg/頭·y]	3.1	0.26	1.58*
5	乳牛	[kg/頭·y]	44.5	0.29	2.24**
	切片 b	[kg/y]	18613.8		1.20
5%有意		**	10%有意	*	

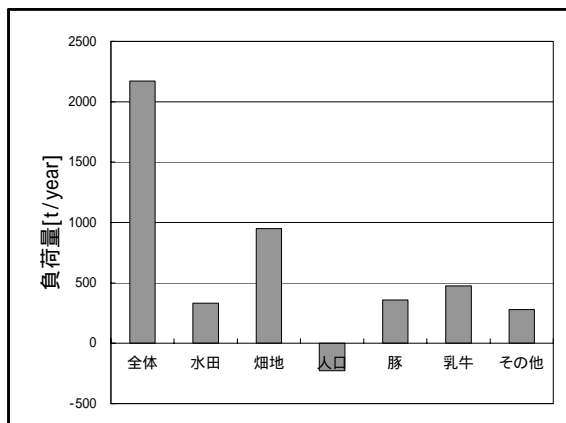


Fig.2 排出源別負荷量

畑地の原単位は水田の3倍以上の値となった。水田、畑地への施肥量をそれぞれ 100kg/ha、200kg/ha とすれば、流出率は水田で 10%程度、畑地で 15%程度となった。

人口は原単位が負の値となったが、これは下水道普及率や下水処理の有無が流域によって異なり、生活系の負荷は人口だけでは決まらないためであろう。

5. 文献との比較

説明変数の数や構成を変えるなどの数パターンの重回帰分析から得た原単位を Table 4 にまとめ、各種文献の原単位と比較した。単位は比較しやすいように、面源は[kg/ha·y]、点源は[g/人 or 頭·day]に換算してある。

Table 4 原単位の比較

	水田 [kg/ha·y]	畑地 [kg/ha·y]	人口 [g/人·day]	豚 [g/頭·day]	乳牛 [g/頭·day]
本研究での値	4.5~10	20~36	-0.5~1.0	8.2~16.4	45~47
参考文献					
第4期水質保全計画(2001)	8.2~8.7	13.7~17.5	0.8~2.8 6.0~7.65	3.9~5.0	28.7~30.0
田淵 (1999)	10~60	10~150			
増島 (1996)	8.5	33			
海老瀬 (1984)	9.1	29.4			
志村ら (1996)				12	87
神山ら (2003)					28.3
田淵 (1994)		20~70		8	44

水田や畑地の原単位は比較的文献とも類似しており、妥当であると言える。これは、農地の窒素流出特性の流域による違いが少なく、原単位のバラつきが少なかったと考えられる。

家畜の原単位は志村ら(1996)による素掘り貯留の負荷を算定した文献値よりは低い、他の文献の値よりもかなり大きい。依然として素掘り貯留の影響が見られると考えられる。

農地に比べ、人口や畜産などの点源系の流出負荷量は排泄物の処理方法などにより多様であるため、本研究のような統計的手法での評価には限界があると思われる。

参考文献

- 茨城県 生活環境部 霞ヶ浦対策課 (2001) 『第4期の霞ヶ浦に係る湖沼水質保全計画策定関係資料集』
- 田淵俊雄 (1999) 『霞ヶ浦の水質保全と流域管理』 月刊下水道 Vol.22, No.6, p.8~11
- 増島博 (1996) 『霞ヶ浦流域における農業系窒素負荷対策』 第10回環境情報科学論文集 p.133~136
- 海老瀬潜一 (1984) 『流域内土地利用形態別流出負荷原単位の解析』 国立公害研究所研究報告 第50号 p.89~102
- 志村もと子、田淵俊雄 (1996) 『養豚飼養密度と河川水窒素濃度との関係』 農業土木学会論文集 182号, p.17~23
- 神山和則、他 (2003) 『農業統計メッシュデータを用いた養牛に起因する水系への窒素負荷量の推定』 日本土壌肥科学雑誌 第74巻 第4号 p.425~433
- 田淵俊雄 (1994) 『農地における自然浄化機能の強化策』 自然の浄化機構の強化と制御 (楠田哲也編) 技報堂