

ジャワ島チダナウ流域における窒素負荷収支の分析

Analysis on Nitrogen Load Balance in Cidanau River Watershed in Java Island

三澤 健一* 後藤 章** 水谷 正一** 小西 智子** アリソ ハリアンシヤ***

MISAWA Kenichi, GOTO Akira, MIZUTANI Masakazu, KONISHI Tomoko, Arien Heryansyah

1. はじめに 人口稠密地であるインドネシア国ジャワ島では、経済発展に伴う工業地帯の拡充と人口の増加により水需要が増加している。特にバンテン州のチダナウ流域は（図1参照）、工業用水、飲料水への供給源となる流域内水系の水質悪化が進行しており、流域河口にある水供給公社は現在水処理費用の高騰に悩んでいる。そこで本研究は、汚濁要因の一つである窒素について着目し、流域内における窒素の挙動と収支を明らかにすることにした。

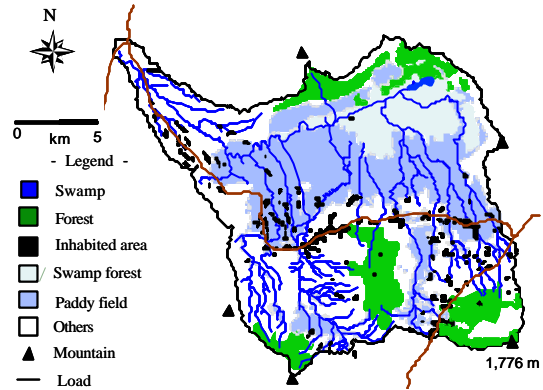


図1 チダナウ流域
Cidanau water shed

2. 研究の方法 生活活動、農業生産活動の実態を把握と、窒素負荷発生量を算出するために農家への聞き取りとアンケート調査を実施した。土地利用データ、統計データは官庁より入手した。また、流域内の水質状況を把握するために流域内支流約30箇所において水質分析を実施した。

3. 原単位の決定 施肥量 ($\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{crop}^{-1}$)、米収穫量 ($\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{crop}^{-1}$)などは聞き取りとアンケート調査により決定した。その他、籾米・稲の窒素含有率は、米のポスト・ハーベスト技術(1994)と Tajuddin *et al.* (1999)の研究を参考に決定した。なお、畑地面積は少なく、樹園地は無施肥であることから水田のみ考慮した。尿尿・生活雑排水中の窒素量は、日本下水道協会の原単位を参考に決定した。

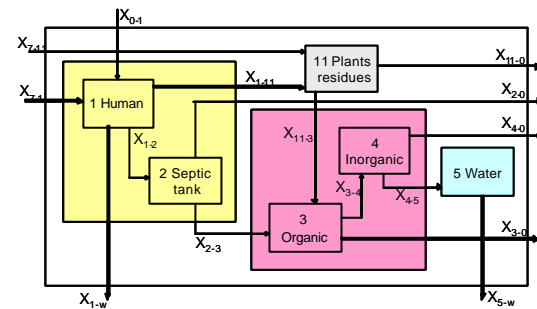


図2 生活活動系窒素収支モデル
Nitrogen balance model of life activities

4. 窒素負荷発生量の算出 原単位と収集データを用いて年間窒素負荷発生量を算出した。家庭排水中の窒素と尿尿中に含まれる年間窒素発生量の合計は $389 \text{ton} \cdot \text{year}^{-1}$ であった。窒素発生要因は水田での施肥投入量であり、 $1,407 \text{ton} \cdot \text{year}^{-1}$ と算出された。この施肥投入量は流域への大きな窒素負荷となっている。

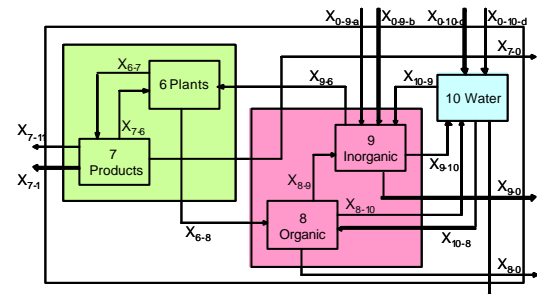


図3 農業生産活動窒素収支モデル
nitrogen balance model of agriculture activities

5. 窒素収支モデルの構築 Harashina *et al.* (2002) と Tajuddin *et al.* (1999) の窒素収支モデルを参考にモデルの枠組みを構築した。収支

* 宇都宮大学大学院（現前田製管株式会社） ** 宇都宮大学農学部 *** 東京農工大学大学院
キーワード：水質，窒素負荷，生活活動，農業生産活動，窒素収支モデル

分析には、W. Leontief (1966) により考案された産業連関表分析を応用した。主な水質汚濁要因は人々の生活活動系によるものと農業生産活動系による窒素流入の影響が大きいと考え、人間を中心とする窒素の流れと、居住区周辺の土壌を表現する生活活動系窒素収支モデルと、水田圃場内の植物と土壌を表現する農業生産活動系窒素収支モデルの2つを構築した。モデル概念図を図2、3に示す。それぞれのシステムを結ぶ矢印は窒素の流れる方向と量を表している。一番大きな外枠は流域全体を表現し、流域内外への窒素収支を表している。モデルの変数名と原単位から算出した窒素負荷発生量を表1に示す。

6. 窒素収支モデルによる窒素負荷排出量の推定 窒素収支変数は生活活動系に15、農業生産系に19あり、そのうち生活活動系モデルには7、農業生産系モデルには8の未知数がある。この未知数を求めるために、各システムにおける窒素収支は均衡しているものと仮定し、未知数が一つの場合は収支の差によって求めた。未知数が2つ以上のシステムは、未知数に関する配分比 a を文献から引用することにした(表2参照)。引用した a と収支均衡式を用いて、係数行列の逆行列を求めることによりこれらの連立方程式を解いた。

7. 結果 算出結果を表3に示す。生活活動系モデル、農業生産活動系モデルによる全窒素負荷流入は 286 ton・year⁻¹、887ton・year⁻¹と算出された。農業生産活動系モデルにおいて、水田へ投入される施肥量 1,407ton・year⁻¹のうち、およそ60%以上が土壌、植物などによって失われるものの、流域にとって依然大きな負荷要因であると言える。農業生産活動系、生活活動系からの負荷流入量の計は 1,173ton・year⁻¹であり、河口地点での窒素負荷流出量と比較すると、流域河口の流量 3.3×10⁸ m³・year⁻¹と、河口地点の平均水質濃度 3.8mg・L⁻¹より、流域からの窒素負荷流出量は 1,250ton・year⁻¹となり、2つの値はおおむね一致することから、モデルによる計算が現実的なものであると実証された。

8. まとめ 生活活動からの窒素負荷排出量と農業生産活動からの窒素負荷排出量をモデルにより概ね表現できた。チダノウ流域における生活活動と農業生産活動それぞれからの河川流入負荷は定量的に把握された。

【引用・参考文献】Tajuddin Bantacut, Akira Goto (1999) : Nitrogen Cycling in Indonesia wetland agriculture

表1 窒素収支変数と窒素負荷発生量
Nirtrogen balance variables and quantity of nitrogen genesis load

生活活動系モデル				農業生産活動系モデル			
フロー	変数	項目	発生量	フロー	変数	項目	発生量
input	X0-1	購入食料	137	input	X0-9-a	窒素固定	unknown
	X7-1	自家消費	256		X0-9-b	施肥	1,407
	X7-11	籾殻など	114		X0-10-c	降水	324
internal flow	X1-2	尿尿	348		X0-10-e	灌漑水	197
	X1-11	残飯	4		X6-7	米収量	795
	X2-3	浸透	unknown	X6-8	根、茎、葉	324	
	X3-4	無機化	unknown	X7-6	種籾	9	
products	X4-5	溶解	unknown	X8-9	無機化	unknown	
	X11-3	分解	unknown	X9-6	植物吸収	1,110	
	X11-0	揮散	1	X9-10	溶解	unknown	
	X2-0	揮散	unknown	X10-8	有機態窒素	unknown	
output	X3-0	揮散	unknown	X10-9	無機態窒素	unknown	
	X4-0	脱窒	unknown	X7-1	自家消費	256	
	X1-W	家庭排水	41	X7-11	籾殻	114	
	X5-W	河川流入	unknown	X7-0	米販売	416	
				X8-0	揮散	unknown	
				X9-0	脱窒	unknown	
				X10-W	河川流入	unknown	

表2 配分比の値
Value of allocation ratio

効 率		配 分 比	出 典
土壌中窒素の無機化効	0.4	$\frac{\text{土壌中の無機化反応量}}{\text{土壌中へ浸入する全ての有機物}}$	White and Sflay in Westerman et al.
水中への溶解効率	0.25	$\frac{\text{土壌から用水への溶解量}}{\text{土壌中へ浸入する全ての有機物}}$	Laboratory analysis
用水から土壌中への無機態窒素取り込み効率	0.85	$\frac{\text{用水から土壌中への無機態窒素取り込み量}}{\text{土壌から用水中へ溶脱する窒素}}$	Tajuddin Bantacut (1995)
用水から土壌中への有機態窒素取り込み効率	0.63	$\frac{\text{用水から土壌中への有機態窒素取り込み量}}{\text{土壌から用水中へ溶脱する窒素}}$	Tajuddin Bantacut (1995)
脱窒効率	0.1	$\frac{\text{脱窒量}}{\text{土壌中に入る全ての無機態窒素量}}$	Bastari, 1983; Tejaswara and Fagi

表3 未知数の計算結果と窒素負荷水系流入
Result of calculation and inflow of nitrogen load

生活活動系モデル		
X2-3	浸透	120
X3-4	無機化	318
X4-5	溶解	286
X2-0	揮散	228
X3-0	揮散	171
X4-0	脱窒	32
X5-W	河川排出	286
農業生産活動系モデル		
X0-9-a	窒素固定	200
X9-10	無機化	265
X8-9	溶解	982
X10-8	有機態窒素	339
X10-9	無機態窒素	443
X8-0	揮散	232
X9-0	脱窒	223
X10-W	河川排出	887