

インドネシア・チダナウ流域における水環境管理計画 Planning of water-environmental management in the Cidanau watershed, Indonesia

山中規之* 後藤章** 水谷正一** アリン・ヘリアンサ***

YAMANAKA Noriyuki, GOTO Akira, MIZUTANI Masakazu, Arien Heryansyah

1 はじめに

インドネシア・ジャワ島では、近年経済発展に伴う工業地域の拡大による人口の増加、生活様式の変化によって、水需要の増大や水質悪化が起こっている。そのため、多地点の水質に着目し、水質環境の保全・改善に向けて、流域内に分布する多様な汚濁源において適切な保全対策を定め、実施することを「流域水環境管理」と定義付けることにする。本研究では、インドネシア・チダナウ流域 (Fig.1) において水環境管理が適切に実施されるように、事前に管理の方法を計画することを目的とした。

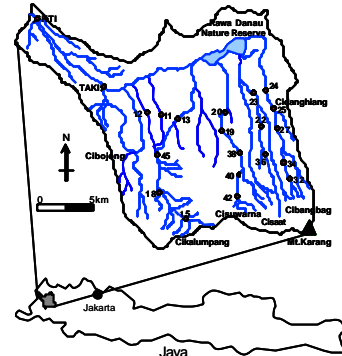


Fig.1 チダナウ流域概要
Cidanau Watershed

2 意思決定法による適切な対策の選定

本研究では意思決定を行うための手法として、多基準分析法を用いた。その中でも、意思決定者の評価を重みとして数値化できることや、明確なルールのもと数値による評価ができる点を考え、AHP (Analytic Hierarchy Process , 階層化分析法) とコンコーダンス分析 (エレクトル手法) を用いた。

3 結果と考察

3-1 負荷流達モデル

河川流下過程における水質変動を考慮した流達式 (三浦 2007) に生活系汚濁負荷に着目した流達式 (榊原 2006) を組み込むことで、集落からの汚濁負荷発生量をより詳細に再現できる COD 負荷流達量式を作成した。このモデルを用いて流域の COD 流達量の計算を行った結果、計算値と観測値からの推定値の効率係数が ME=0.82 となり、流域内の COD の挙動をおおよそ再現することが出来た。

3-2 将来動向予測

3-1 を用いて水質の将来動向予測シミュレーションを行った。10年後を予測することとし、近隣都市の統計データをもとに各増減率を決定した。ここでシナリオとして、現状のまま何の対策も施行しない、汚濁負荷溶脱源となっている湿地の復元、流域全域にし尿のみを処理する浸透槽の普

$$L_n = \underbrace{\exp(-k_r(X+Y))}_{\text{河川での浄化率 (上流+下流)}} \times \underbrace{\exp(-k_p(A+B))}_{\text{水田での浄化率 (上流+下流)}} \times \underbrace{L_{n-1}}_{\text{上流からの流入量}} + \underbrace{\exp(-k_r Y)}_{\text{河川での浄化率 (下流)}} \times \underbrace{\exp(-k_p B)}_{\text{水田での浄化率 (下流)}} \times (\text{発生負荷}_{\text{尿}} \times a + \text{発生負荷}_{\text{糞}} \times b + \text{発生負荷}_{\text{洗濯・水浴び}} \times c)$$

Table 1 COD 濃度の将来動向予測結果 (mg/l)
Prediction result of the COD concentration

及、流域全域に生活雑排水を処理する合併浄化槽の普及、とを同時に施行、とを同時に施行の6つをあてはめた。また、これらは意思決定を行う際の代替案としても用いる。この結果、各シナリオに対する上・中流、下流別の COD

地点	水質 (上・中流)						
	現在	現状	湿地復元	浸透槽普及 (尿)	合併浄化槽普及	浸透槽+湿地	合併槽+湿地
Cidanghiang24	13.094	16.849	16.849	16.053	2.668	16.053	2.668
Cisuwarna20	8.451	10.876	10.876	10.520	1.857	10.520	1.857
Cikalumpang11	7.169	9.227	9.227	8.530	1.240	8.530	1.240
Cikalumpang12	12.499	16.086	16.086	14.871	2.162	14.871	2.162
Cikalumpang13	6.435	8.282	8.282	7.922	1.338	7.922	1.338
Cisaat23	11.310	19.191	19.191	17.741	2.579	17.741	2.579
Ave.	9.826	13.418	13.418	12.606	1.974	12.606	1.974
水質 (下流)							
KTI	9.698	12.450	6.474	10.309	5.033	6.263	0.986

*サンスイコンサルタント株式会社 (SANSUI Consultant Inc.) **宇都宮大学農学部 (Utsunomiya Univ.) ***ボゴール農科大学 (Bogor Agricultural University)

キーワード：流域管理，COD，将来動向予測，階層化分析法，コンコーダンス分析

汚濁負荷流達量が算出された。負荷量を流量で除して濃度に変換した (Table 1)。

3-3 AHP を用いた意思決定結果

AHP を行うため、各代替案・評価項目を設定した。各評価項目の定義はそれぞれ、コスト：代替案を施行するために必要な費用、維持管理費、水質(下流)：代替案の施行による水質改善効果、水質(上・中流)：同上とした。下流、上・中流の水質がステークホルダーである流域内住民、KTI とそれぞれ利害関係を有するため、それぞれを評価項目として独立させた。各代替案施行にかかるコストは他地域における事例、水使用量を考慮し、湿地の復元：約 150 億円、浸透槽普及(し尿)：1200 万円、合併浄化槽普及：25 億円と仮定して考えることにした。その結果、AHP による最適な代替案が決定された (Table 2)。

3-4 コンコーダンス分析を用いた意思決定結果

コンコーダンス分析も AHP と同様の条件を用いて、Table 1 の結果と各代替案別コストに従って算出した。その結果、コンコーダンス分析による最適な代替案が決定された (Table 3)。

3-5 具体的な最適保全計画

以上の分析より、AHP では「合併槽+湿地」、コンコーダンス分析では「合併浄化槽普及」の代替案がそれぞれ最適とされた (Table 2, 3)。これらの保全策を施行するには多大な費用が必要となる。コストに関する聞き取り調査を行ったところ、流域内住民は強い関心を持っており、また、KTI (水供給公社) は Rp.200,000,000/year (約 250 万円/年) の補助を行っているという回答が得られた。これに対して村役場は現状として補助は行えないという回答であった。これらのことを考慮して、本研究では水質目標値を設定し、目標値の達成かつ、コストを抑えた保全策を施行することとした。本研究では保全策施行後の COD 濃度に具体的な数値目標を設定し、流域保全策を策定するための判断材料とする。現状の水質を基に実現可能な数値であることを考慮して、「生活環境の保全に関する環境基準(河川)」における D 類型 (COD: 8mg/l 以下) を水質目標とした (BOD COD と仮定)。

4 まとめ

以上の結果、合併浄化槽の普及率 50%において、上・中流、下流の COD 濃度が 8mg/l 以下となることが確認できた (Table 4, Fig.2)。

引用・参考文献

Arien Heryansayah (2007): Development of a Watershed Water Quality Model in Indonesia, 農業農村工学会論文集 No.251 p.p.97-105 石積航 (2006): インドネシア・チダナウ流域における水質汚濁機構の解明, 宇都宮大学修士論文 榎原千恵 (2006): インドネシア・チダナウ流域における生活系汚濁負荷と河川水質の関係, 宇都宮大学卒業論文 三浦晃毅 (2007): ジャワ島・チダナウ流域における河川水質の将来動向, 宇都宮大学卒業論文 木下栄蔵 (2000): 入門 AHP 決断と合意形成のテクニック, 日科技連出版社 田中豊, 脇本和昌 (1995): 多変量統計解析法, 現代数学社 (社) 農業土木学会 (2000): 改訂六版 農業土木ハンドブック BPS-Statistics of Serang Regency (2006): SERANG DALAM ANGKA Serang in Figures 2005

Table 2 AHP 結果
Result of AHP

Rank	スコア	代替案
1	0.291	合併槽+湿地
2	0.239	合併浄化槽普及
3	0.147	現状のまま
4	0.120	浸透槽普及(し尿)
5	0.104	湿地の復元
6	0.099	浸透槽+湿地

Table 3 コンコーダンス分析結果
Result of Concordance analysis

Rank	代替案	コンコーダンス 優越指標	ディスコーダンス 優越指標
1	合併浄化槽普及	2.766	-2.215
2	合併槽+湿地	1.845	-1.590
3	浸透槽普及(し尿)	-0.314	0.439
4	浸透槽+湿地	-0.460	1.083
5	現状のまま	-1.845	1.026
6	湿地の復元	-1.992	1.262

Table 4 普及率別 COD 濃度変化 (mg/l)
COD concentration-change by the
penetration ratio (mg/l)

地点	水質(上・中流)	
	合併槽50%普及	合併槽50%+湿地
Cidanghiang24	9.759	9.759
Cisuwama20	6.366	6.366
Cikalumpang11	5.234	5.234
Cikalumpang12	9.124	9.124
Cikalumpang13	4.810	4.810
Cisaaat23	10.885	10.885
Ave.	7.696	7.696
水質(下流)		
KTI	7.985	4.416

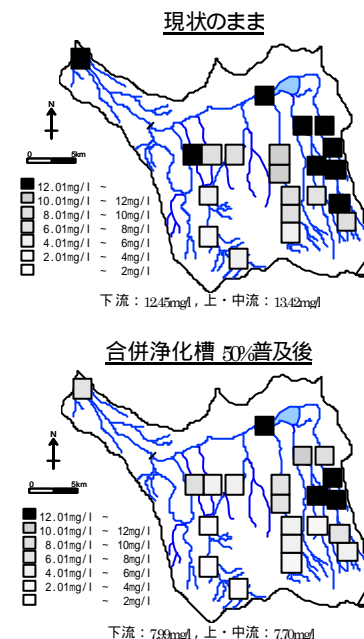


Fig.2 保全策施行後の変化
The change after the security step