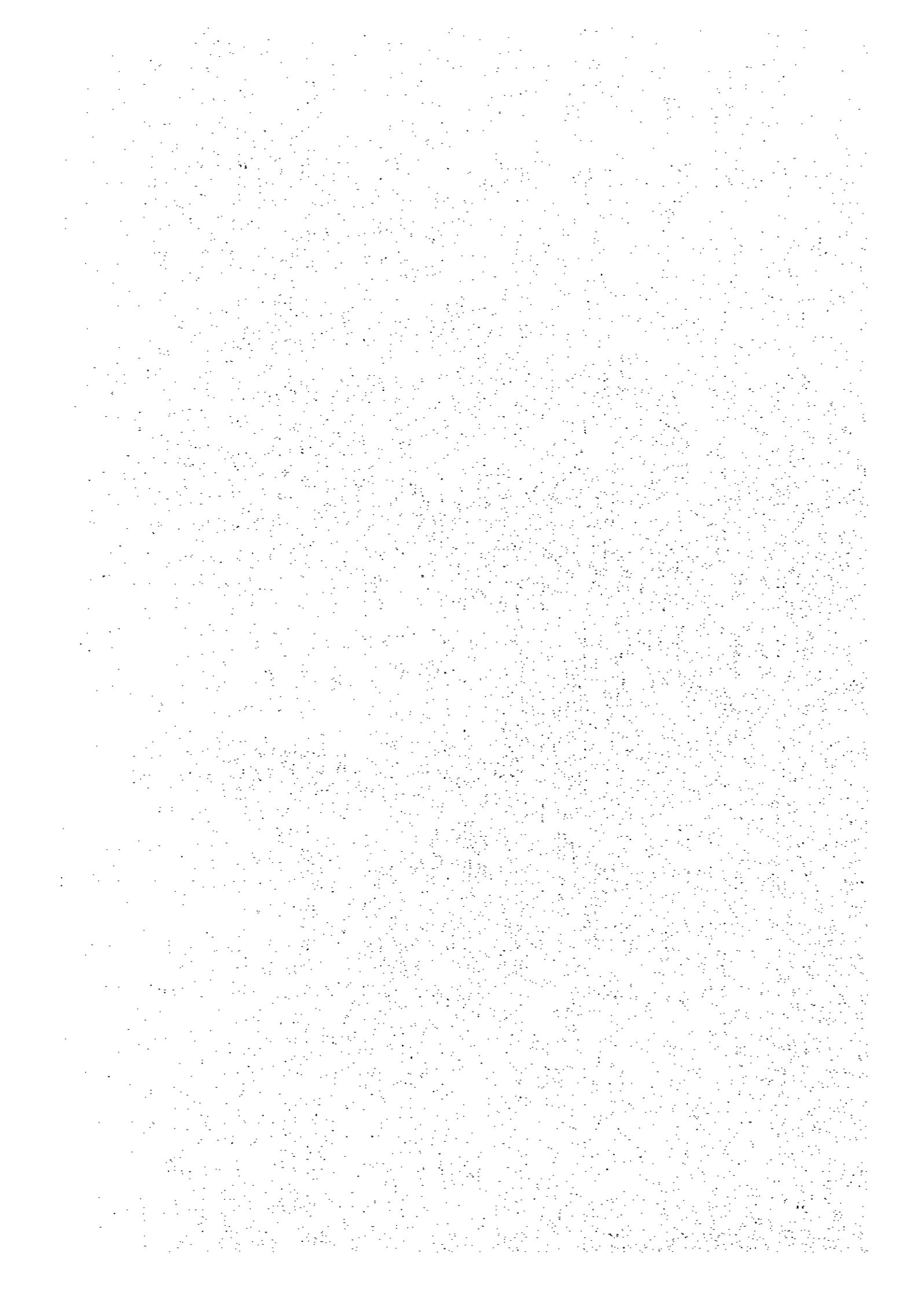


水質管理計画



1. 河川水質現況

1.1 調査の手順

河川水質調査の手順は既存の関連資料を収集・整理するとともに、漓江の水質現況をより詳細に把握するために、補足調査として水質スポット調査、及び河川自浄作用調査を実施した。

調査の手順を追うと以下のようになる。

(1) 既存水質・水量調査資料等の収集・整理

中国側が保存している既存水質調査資料等について原則として過去 10 年分のデータを収集・整理した。

資料の入手状況を表 1.1.1 に示す。

表 1.1.1 既存水質調査資料入手状況

地点名、調査年	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
大河		○	○	○	○	○	○	○	○	○
斗鷄山		○	○	○	○	○	○	○	○	○
龍門		○	○	○	○	○	○	○	○	○
磨盤山	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○
桃花江、南門橋	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
南溪河口	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
小東江、劉家橋	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
榕湖、杉湖	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
良豊河、翠遠河	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
漓江上流桂林地区	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
靈渠、義江など	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

備考①磨盤山は 1994 年に調査開始したのでそれ以前のデータはない。

②桂林地区は漓江上流 1 箇所データのみのみで 1986～1989 年は千家坪、1990～1995 年は靈川県三街矛頭村のデータとなっている。

(2) 現地踏査の実施

調査地点を定め、水質補足調査を行うために現地踏査を実施した。

(3) 水質調査一般地点（及び基準地点）の選定

中国側で実施している水質調査資料、及び現地踏査の結果を踏まえて、補足調査の水質調査地点を選定した。その調査地点は、以下に示す合計 10 カ所の地点である。

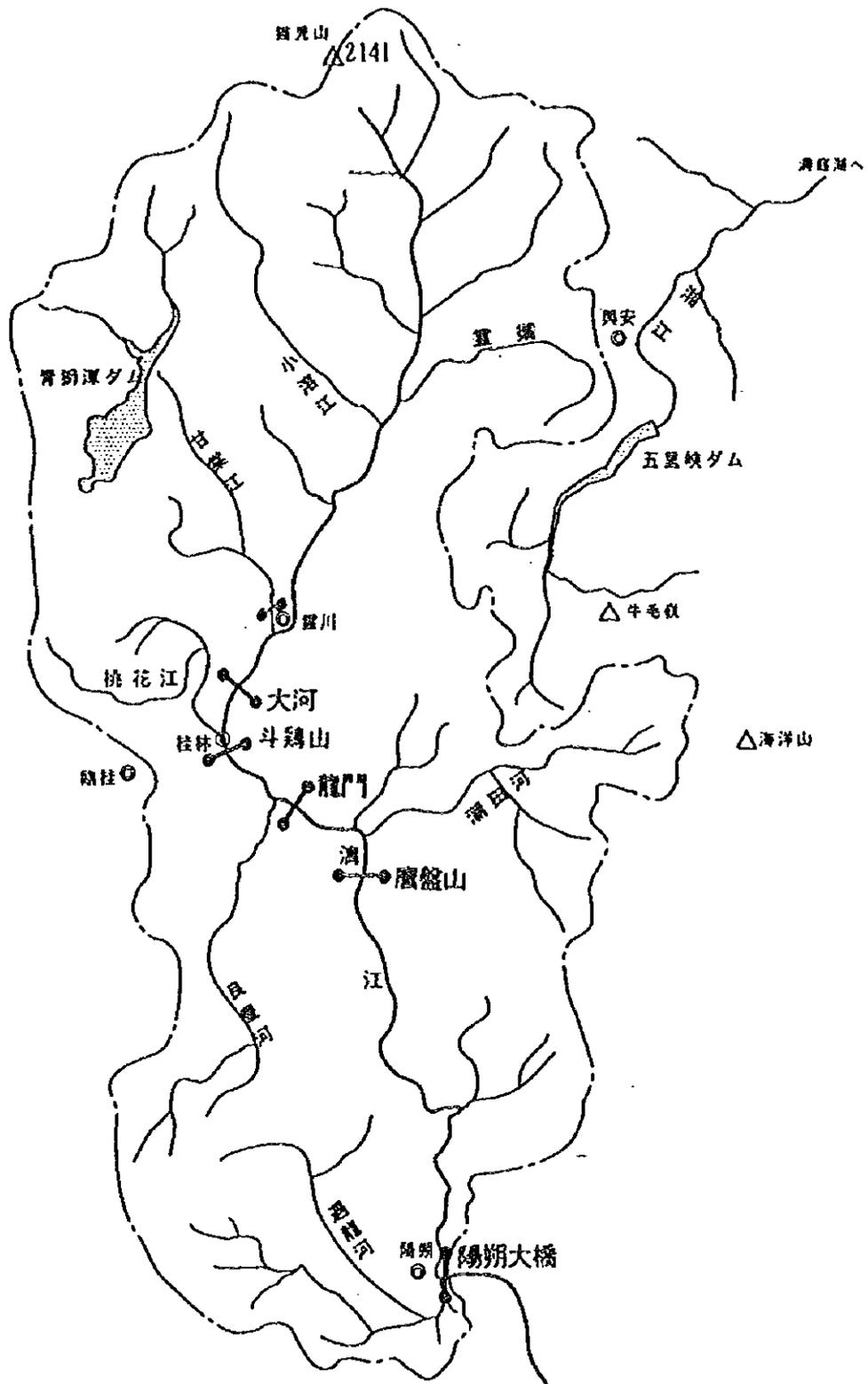


図 1.1.1 河川水質調査地点位置図 (漓江本川)

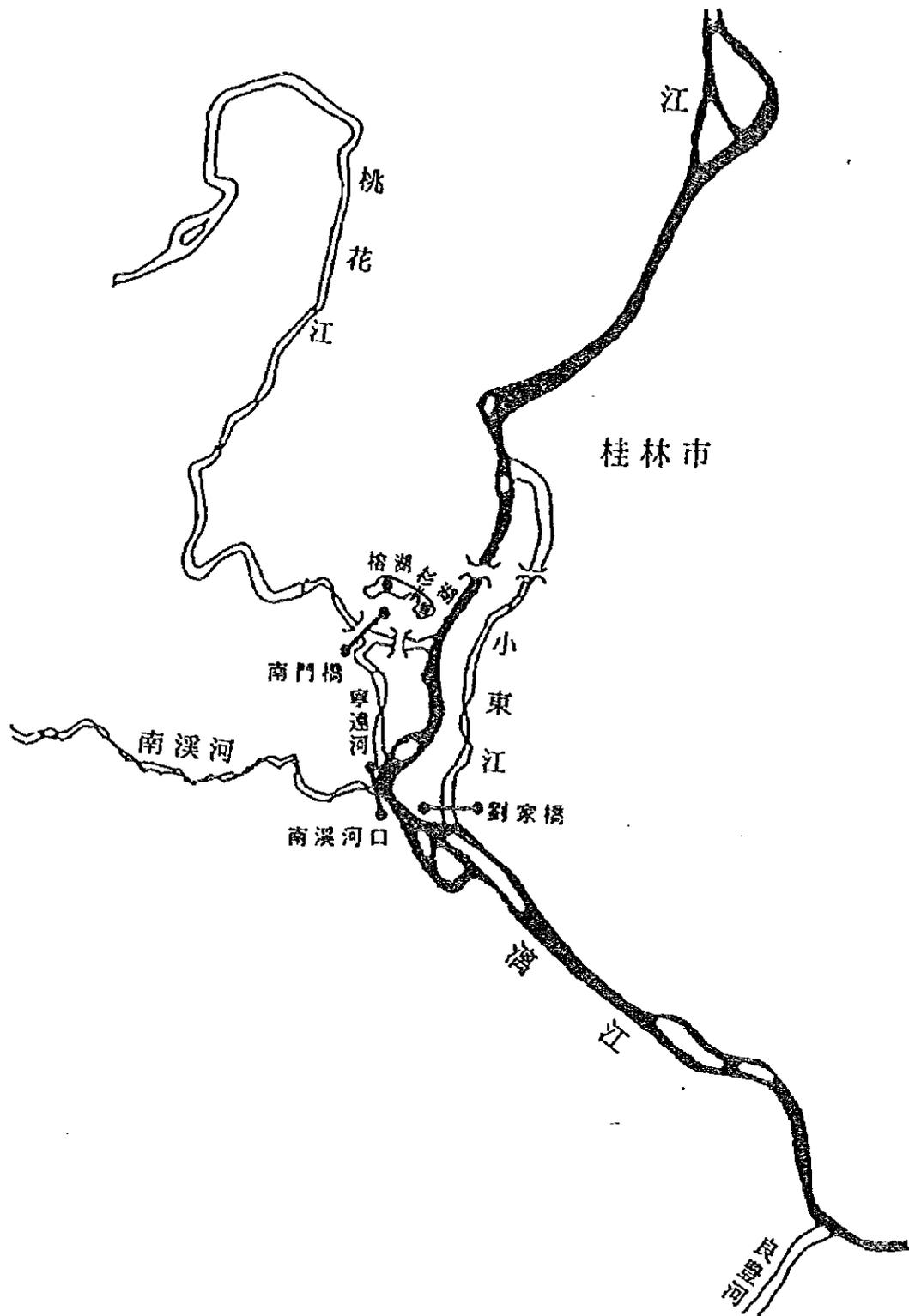


圖 1.1.2 桂林市街地周邊河川・湖沼水質調查地点位置圖

表 1.1.2 補足水質調査地点一覧

河川名	基準	監測地点名	調査内容の概要	備考
瀧江本川	◎Ⅱ	大河（桂林市上流）	水質、流量	既設
瀧江本川	◎Ⅱ	斗鶏山（桂林市中流）	水質、流量	既設（廃止の予定）
瀧江本川	◎Ⅱ	龍門（桂林市中流）	水質、流量	既設
瀧江本川	◎Ⅱ	磨盤山（桂林市下流）	水質、流量	既設
瀧江本川	×Ⅱ	陽朔大橋（陽朔市街地付近）	水質、流量	新設 橋で測定
甘棠江	×Ⅲ	疊川市街地幹線道路橋	水質、流量	新設 橋で測定
桃花江	◎Ⅲ	南門橋	水質、流量	既設
南溪河	◎Ⅲ	南溪河口	水質、流量	既設
小東江	◎Ⅲ	劉家橋	水質、流量	既設
榕湖	◎Ⅲ	湖心	水質	既設 採水のみ
杉湖	◎Ⅲ	湖心	水質	既設 採水のみ

※注）斗鶏山は、寧遠河・南溪河などの支川が合流直後のため、十分に混合されない状態であり、水質観測基準地点として適当ではないと考えられている。このため、上部機関に廃止申請を行っているところである。

(4)補足水質調査の実施方法

携帯式水質測定器等を使用して、補足的な水質調査を実施した。

測定項目としては、重要度に応じて(a)～(c)にランク分けして、必要に応じて実施することにした。

(a)現場計測が簡単で水質の概要が把握可能で測定地点・測定頻度を増やせる項目

水温、pH、導電率、DO

(b)河川水質の汚濁指標として重要な項目

DO、BOD、COD(Mn)、COD(Cr)、SS、大腸菌群数、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素、全リン、全蒸発残留物

(c) (有害物質)

(シアン、フェノール、鉛、水銀、ヒ素、カドミウム、6価クロム) 等

有害物質については、既存の資料によれば河川においてはほとんど検出されていないため、今回の補足水質調査では必要性がないものと判断し、分析しなかった。

なお、採水時に流量「=区分流量の合計」（区分流量=区分流速×区分断面積）を測定した。

$$Q = \sum (V_i \times A_i) \quad \text{ただし、} Q(\text{m}^3/\text{s}) ; \text{全流量}$$

$V_i(\text{m}/\text{s}) ; \text{区分流速}$

$A_i(\text{m}^2) ; \text{区分断面積}$

水深が深くて、2割水深・8割水深の流速測定が難しい場合、表面流速を測定し、平均流速は表面流速の 0.85 倍とした。区分数は最低 7 断面以上、流速測定は最低 3 断面以上とした。

1.2 河川水質現況について

1.2.1 導電率の調査結果からみた河川水質現況

導電率は溶存イオンの総量（イオンの種類によって感度は異なるが）を示すものであり、生活排水、工場廃水などの混入により、増加する。したがって、導電率を調査することにより、人為的な汚染状況が相対的に把握できる。

1996 年 8 月の補足調査で実施した調査対象流域における晴天時の導電率（ $\mu \text{S}/\text{cm}$ at 25°C）、DO 飽和率等の測定結果を表 1.2.1～1.2.2、及び図 1.2.1 に示す。

桂林市街地上流域ではおおむね 100 前後か、もしくはそれ以下であり、良好であ越えており、かつ DO（溶存酸素）もほぼゼロで、悪臭を放っていることからみて、非常に汚濁している状態である。小東江も同様に汚濁している。

このため、漓江本川桂林市市街地上流の大河では 100 と比較的低いのに対し、桂林市市街地下流の龍門では 175 と上昇しており、桂林市市街地を由来とした汚染状況がわかる。

龍門から下流、磨盤山（141）、陽朔（157）まで導電率はむしろ減少している。これは下流において汚濁源が少なく、かつ比較的清澄な支川の流入によるものと考えられる。

1.2.2 河川水質の概要

(1) 河川流量と水質

一般に河川流量が十分に維持されているとき（桂林観測所で 40m³/s 以上）は、水質も安定して良好である。平水期の漓江本川の流量は約 100m³/s である。それに対して桂林市内の汚濁支川である南溪河、小東江の流量は 3.3, 5.8 (m³/s) とはるかに小さく、平水期においては漓江本川の水質は汚濁支川の水質に大きく影響されることはない。

表 1.2.1 1996 年 8 月 7,10 日 漓江支川水質

	河川名	南溪河	小東江	桃花江	寧遠河	小潞江	大潞江	盤峯
調査地点	単位	南溪河口	劉家橋	南門橋	寧遠河口	合流前	合流前	分水直後
調査時刻	時分	9:50	10:30	16:00	9:30	11:00	15:10	14:30
水温	℃	29.2	29.3	31.0	30.1	26.8	27.1	30.2
電導度	$\mu\text{S/cm}$	309	217	168	331	51	64	227
DO	mg/L	0.1	0.6	5.4	0.1	7.5	7.9	11.5
飽和DO	mg/L	7.6	7.6	7.4	7.5	7.9	7.9	7.5
飽和率	%	1	8	73	1	95	100	153
pH		7.20	7.31	7.44	7.25	***	***	***
流量	m^3/sec	3.30	5.78	11.91	***	***	***	***
断面積	m^2	12.17	38.69	38.44	***	***	***	***
平均流速	m/sec	0.26	0.16	0.31	***	***	***	***

表 1.2.2 1996 年 8 月 14~16 日 漓江河川水質

	河川名	漓江	漓江	漓江	漓江	甘棠江
調査地点	単位	大河	龍門	虞盤山	陽朔大橋	合流前
調査時刻	時分	9:50	10:45	16:45	11:30	16:00
水温	℃	26.9	27.2	28.6	28.7	25.8
電導度	$\mu\text{S/cm}$	100	175	141	157	121
DO	mg/L	7.0	5.1	5.8	6.0	7.7
飽和DO	mg/L	7.9	7.8	7.7	7.7	8.0
飽和率	%	89	65	75	78	96
pH		7.87	7.74	7.44	7.57	7.17
流量	m^3/sec	214	271	334	404	31.7
断面積	m^2	420	549	495	781	115.4
平均流速	m/sec	0.51	0.49	0.67	0.52	0.28

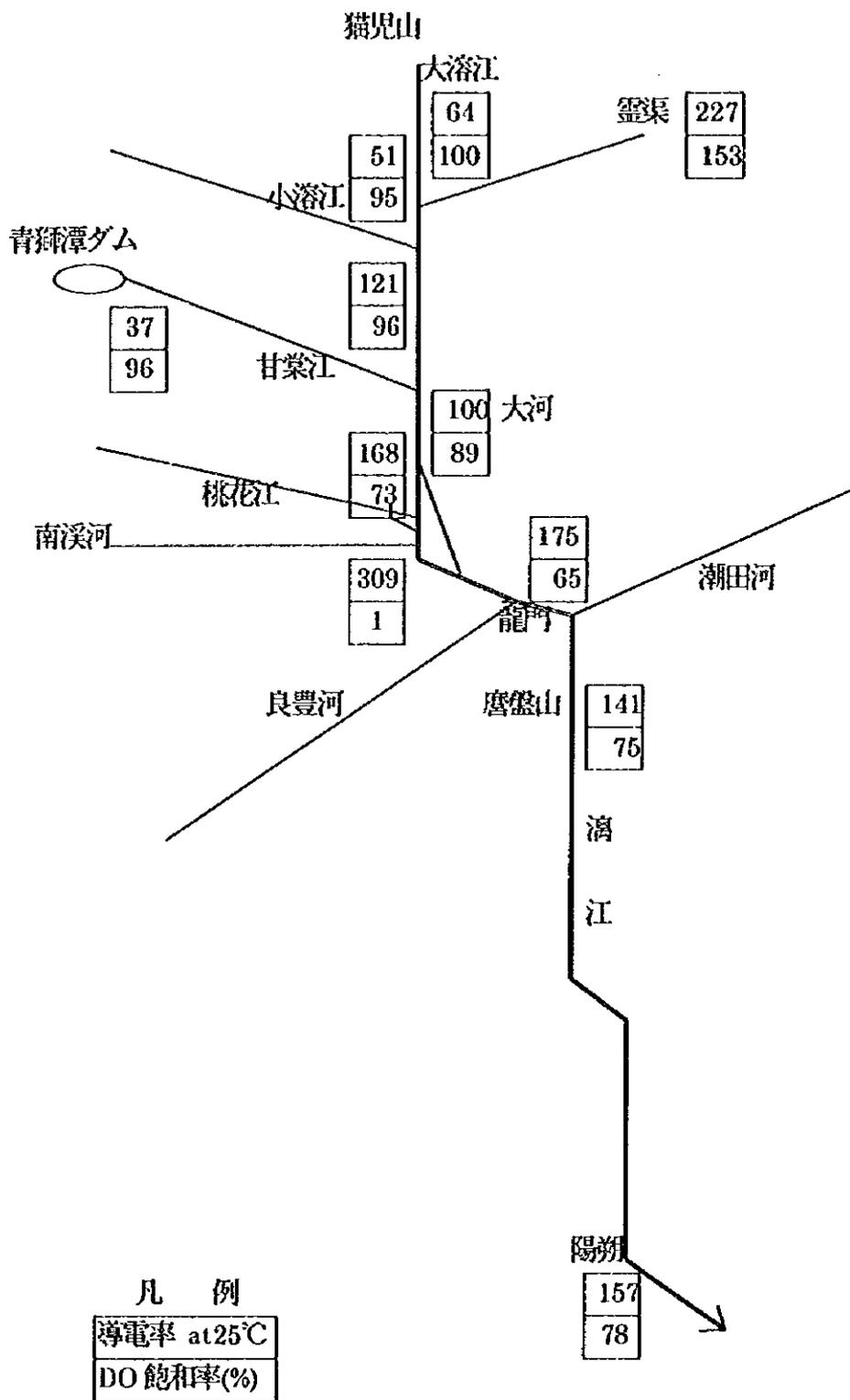


図 1.2.1 河川の導電率・DOの状況 (1996年8月)

(2)有機物汚染 (DO、BOD、COD(Cr)、COD(Mn)) の現況

桂林市上流の大河では、周辺の汚濁源も少なく、水質は良好である。

表 1.2.4、及び図 1.2.3 は 1995 年の年平均水質データから流下に伴う水質の変化をみたものである。

DOは桂林市上流の大河では、7.7(mg/l)と高いが、桂林市城区を通過する斗鷄山、及び龍門では各々 4.6,3.6(mg/l)と大きく低下している。これは、桂林市城区からの工場廃水、及び未処理生活排水の影響を受けているものと考えられる。ちなみに水質環境基準Ⅱ類のDO濃度は 6(mg/l)以上であり、斗鷄山、龍門、磨盤山では年平均値で環境基準以下となっており、水質基準を満たしていない状況である。

BOD、COD、NH₄-Nはいずれも斗鷄山でピーク濃度になっており、それ以降の下流では河川の自浄作用などにより減少していることがわかる。

ただし、斗鷄山においてもBOD濃度は 2.22、COD濃度は 2.38(mg/L)であり、BOD、CODとも環境基準Ⅱ類を満足している。

(3)窒素、リンの現況

河川における既往の窒素、リンに関するデータは一般に非常に少ない。そこで、1996年8月に日中共同で水質調査を実施した。この調査結果を下表 1.2.3 に示す。

表 1.2.3 漓江本川及び支川等水質調査結果 1996年8月7～16日

調査地点	河川名 単位	漓江 大河	漓江 龍門	漓江 磨盤山	漓江 陽朔大橋	甘棠江 合流前	南溪河 南溪河口	小東江 劉家橋	桃花江 南門橋	榕湖 湖心	杉湖 湖心
SS	mg/L	14.0	17.0	10.0	18.0	20.0	15.0	5.0	9.0	9.0	8.0
TS	mg/L	74	101	122	117	101	205	133	115	116	117
DO	mg/L	5.9	4.6	4.2	5.9	5.8	0.0	1.1	4.3	2.7	4.2
COD(Mn)	mg/L	1.9	2.6	2.3	3.7	3.5	7.7	3.7	2.3	3.2	4.2
COD(Cr)	mg/L	4.0	2.0	6.0	3.0	8.0	28.0	14.0	7.0	12.0	16.0
BOD	mg/L	0.2	0.9	0.8	0.6	1.7	11.1	3.8	0.9	2.0	7.0
NH ₄ -N	mg/L	0.71	0.78	0.51	0.24	1.49	3.31	2.00	0.51	2.42	2.22
NO ₂ -N	mg/L	0.053	0.086	0.073	0.022	0.063	0.013	0.274	0.022	0.089	0.085
NO ₃ -N	mg/L	0.66	0.76	0.81	0.63	0.59	0.06	0.21	0.16	0.26	0.18
IN	mg/L	1.42	1.63	1.42	0.89	2.14	3.38	2.48	0.69	2.77	2.49
TP	mg/L	0.037	0.012	0.018	0.025	0.038	0.428	0.190	0.060	0.257	0.290
大腸菌群数	個/L	23800 0	238000	238000 0	238000	238000	>2380000	>2380000	238000 0	23800	238000

注) IN=NH₄-N+NO₂-N+NO₃-N

瀧江本川における無機態窒素濃度は、0.89～1.63(mg/l)であり、降雨に含まれる濃度に比べて若干高い程度であり、ほぼ問題のない状況である。

非イオンアンモニアについては環境基準が 0.02(mg/l)ときわめて厳しく、大河、斗鶏山、龍門、磨盤山ではいずれも常時、環境基準を超過している状態である。

瀧江本川におけるリン濃度は、0.012～0.037(mg/l)とかなり低い濃度である。

リンは沈降や水草の増殖等により川底に固定されるので、流下にしたがって必ずしも濃度が高くなっているわけではないことがわかる。

(4)大腸菌など細菌汚染の現況

1996年8月の調査によれば、大腸菌群数は $10^5 \sim 10^6$ 個/lのオーダーである。

大腸菌は糞便を原因としたものだけでなく、土壌中にも多く存在することから、汚濁の進行した南溪河、小東江を除けば、現時点では特に問題視するほどのレベルではない。

ただし、遊泳区域の水質管理の観点から、下水処理場などで適正な殺菌を行っていく必要がある。

(5)有害物質による汚染の現況

既往の定期河川水質調査において南溪河などでフェノール、ヒ素などが微量濃度で検出されたことはあるが、瀧江本川においてはほとんど検出されていない。今後、万一検出された場合は、排出源となっている工場の排水規制などの汚濁源対策を実施して対応すべきである。

表 1.2.4 水質の位置特性 (1995年)

地点名	大河	斗鶏山	龍門	磨盤山
到達距離(km)	6.0	16.5	27.3	38.8
DO	7.68	4.58	3.55	5.10
BOD	0.67	2.22	1.25	0.87
COD	1.43	2.38	2.10	1.75
SS	6.4	9.3	6.2	9.5
NH ₄ -N	0.23	1.02	0.81	0.26
NO ₂ -N	0.052	0.081	0.120	0.080
NO ₃ -N	0.53	0.56	0.90	1.18
電導度(uS/cm)	124	157	180	186

注) 到達距離は瀉江と甘棠江との合流点をゼロとして算出した

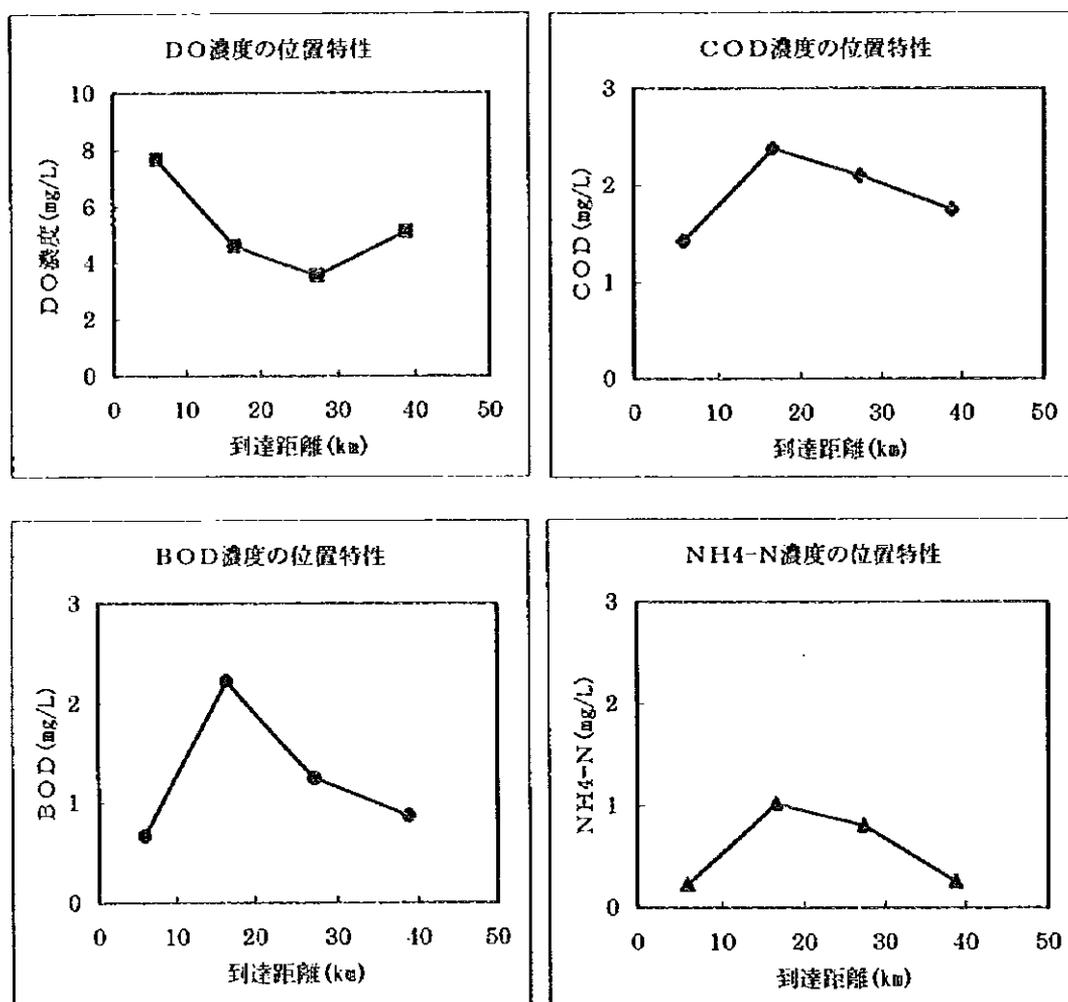


図 1.2.3 流下に伴う瀉江水質の変化 (1995年平均水質)

1.2.3 河川水質の季節的な傾向について

図 1.2.4 に、1991～1995 年の 5 年間の調査データをプロットしたものを示した。例年 5～6 月、7～8 月、12 月に各 2 回ずつ、年間 6 回の定期水質調査を実施しているので 5 年間で原則として合計 30 データをプロットした（欠測の場合を除く）。

季節的な特徴として、浮遊物質（SS）は渇水期に減少していることが明瞭に認められる。一般に河川では流量の少ない時期は流送土砂量が小さくなる結果、水中のシルト分が減少し、透明度があがることが多い。

また、一般に河川では渇水期に水質が悪化する傾向があるが、図からわかるように漓江本川においては豊水期とほぼ同じレベルであり、そのような傾向はほとんどみられない。

ただし、桂林市中流部の斗鶏山においては、渇水期に BOD が高くなっていることが顕著に見られる。これは、河川流量が小さいことと、桂林市街地からの工場排水、生活排水の直接的な影響によるものと考えられる。

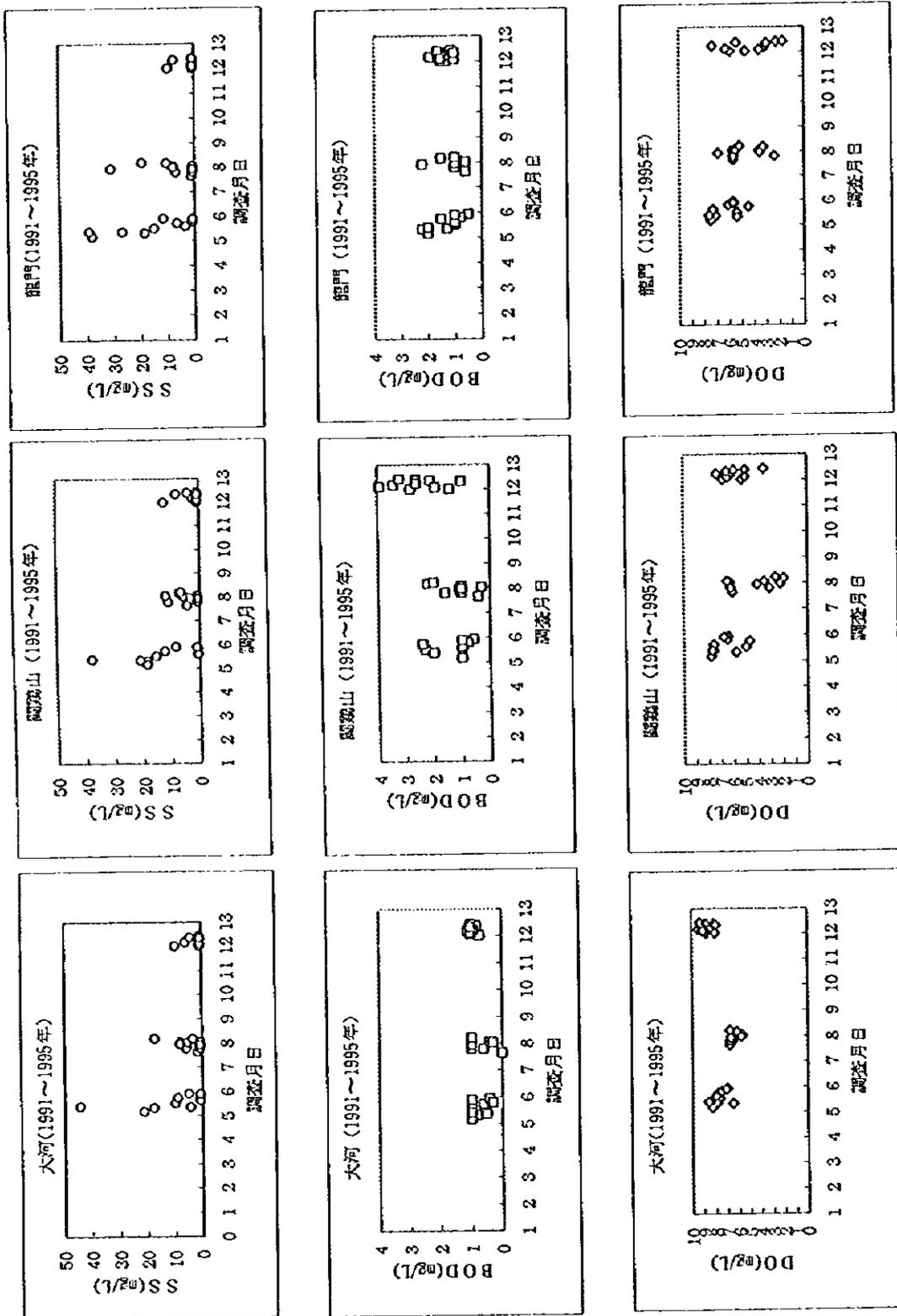


図 1.2.4 瀧江本川における水質の季節特性 (1991~1995年)

1.2.4 河川水質の経年的な傾向について

図 1.2.5～1.2.6 は 1987 年～1995 年までの漓江本川、及び主な支川の年平均水質の経年変化をまとめて示したものである。これによれば、漓江本川、及び桃花江については有機物濃度 (BOD、COD(Mn)) の経年的な変化はほとんどなく、水質環境基準を常に満足している。したがって、BOD、COD でみる限りは、水質汚濁が顕著に進行しているとは考えにくく、漓江本川の環境容量が大きく、河川での自浄能力が十分に機能しているものと考えられる。

しかし斗鷄山以降の桂林市中流、下流域では、アンモニア ($\text{NH}_4\text{-N}$) は年々増加傾向にあり、人為的な汚染が増大していることがわかる。

また、支川のうち小東江、南溪河、寧遠河の水質汚濁が顕著に現れており、特に小東江においては、それまでは比較的清澄であったが、1994 年から急速に水質汚濁が進行していることがわかる。

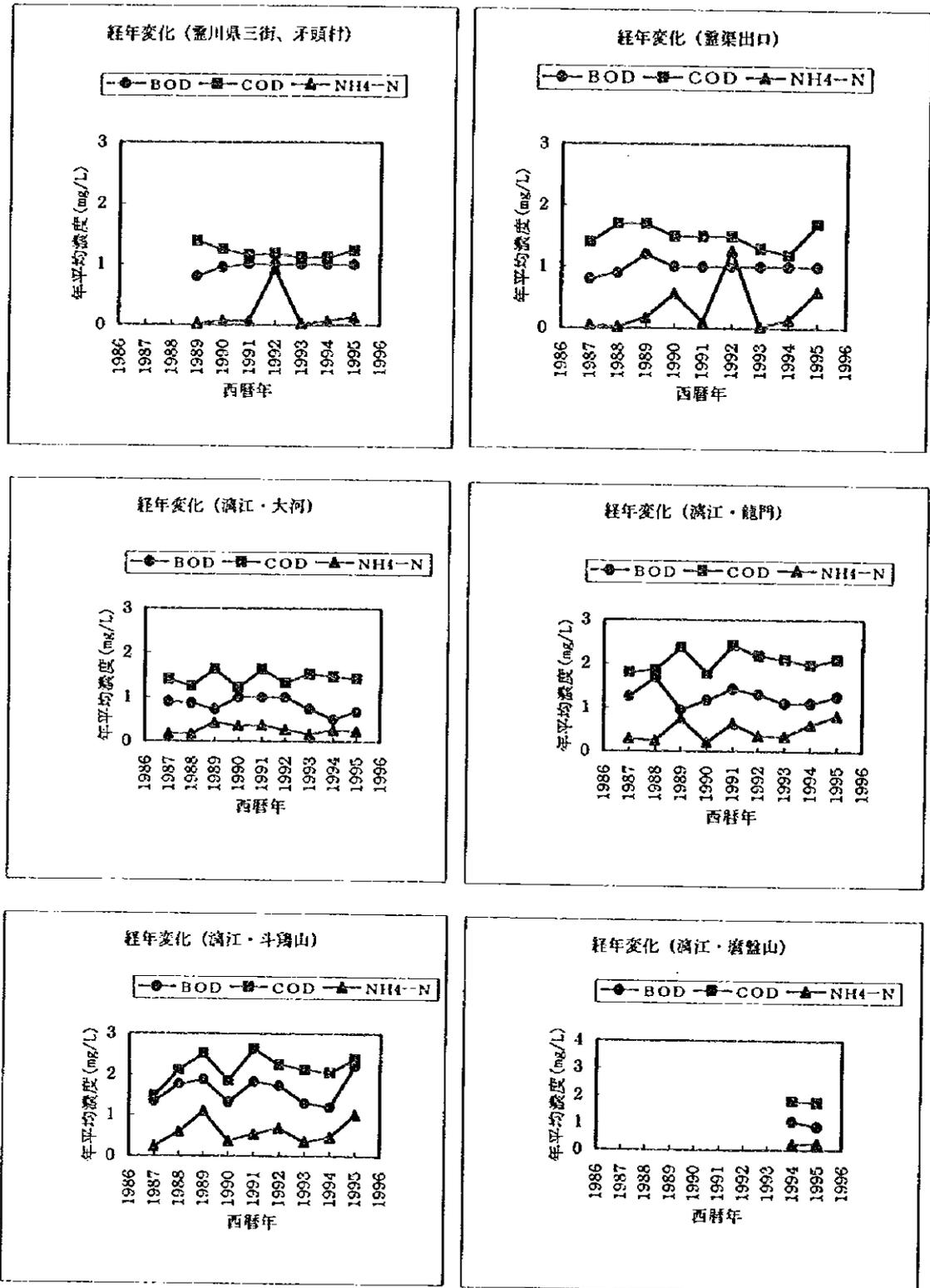


図 1.25 桂林市都市部における漓江年平均水質の経年変化

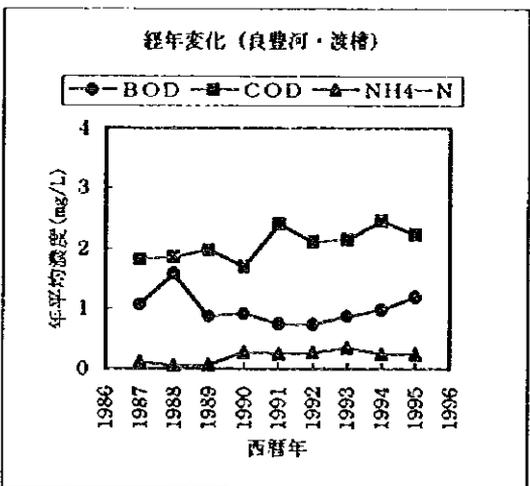
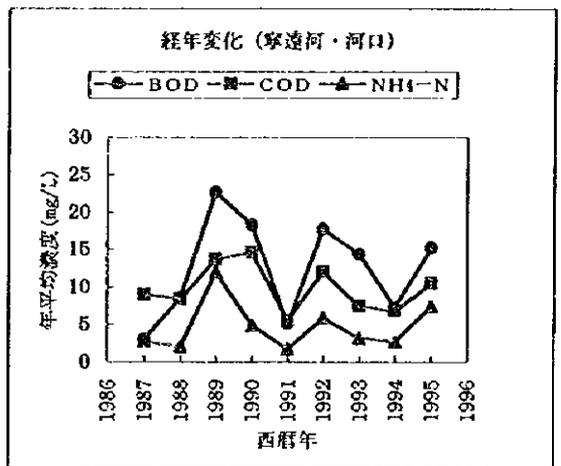
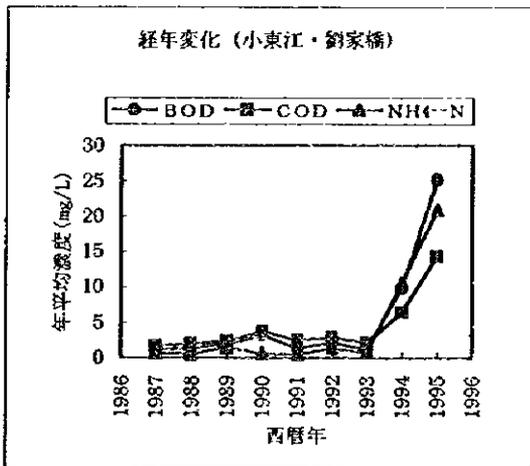
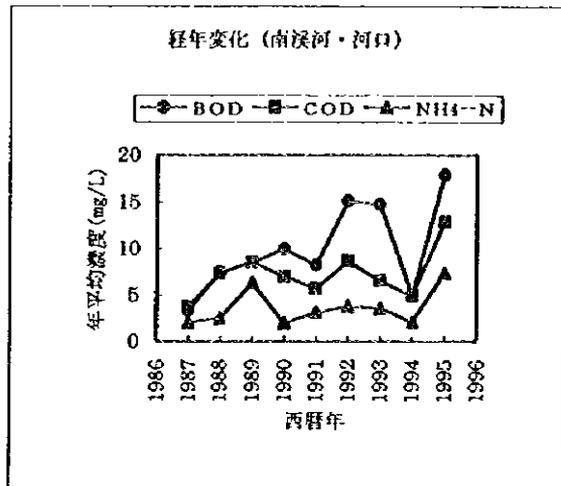
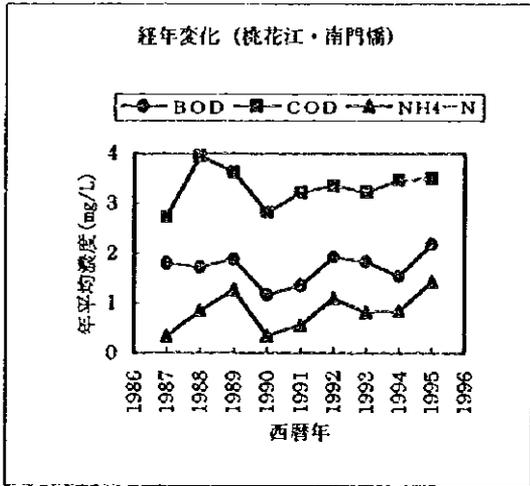


図 1.2.6 桂林市都市部支流における年平均水質の経年変化

1.2.5 渇水期の水質現況について

(1)過去の観測データによる解析

表 1.2.5, 1.2.6 に 1991～1995 年の閼鷄山、龍門における渇水期の水質分析結果と桂林観測所における流量観測結果を整理したものを示す。

この結果によれば、過去 5 年間の 10 回の水質調査のうち、桂林観測所において流量が $30(\text{m}^3/\text{s})$ 以下になったのは 1992 年 12 月 14 日の 1 回だけであり、舟運及び取水に障害を及ぼすほどの渇水時のデータはほとんどないことがわかる。

また、流量が $30(\text{m}^3/\text{s})$ 以上あれば、渇水期の水質は現状においてはそれほど悪化しないと見える。

表 1.2.5 渇水期の水質と流量（桂林水文観測所、及び閼鷄山水質観測地点）

年	水質・流量 月 日	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	流量 (m^3/s)	通年最小 流量(m^3/s)	12月最小 流量(m^3/s)
1991	12.04	5.0	3.9	3.5	1.33	31.0	26.2	28.9
	12.11	6.5	1.0	1.4	0.10	34.4	(11/06)	(12/23)
1992	12.03	6.4	1.9	2.4	0.64	30.3	8.06	8.06
	12.14	3.5	3.2	3.3	1.44	12.0	(12/22)	(12/22)
1993	12.01	6.8	1.4	1.3	0.50	47.7	8.22	29.6
	12.08	7.3	2.6	1.9	0.61	43.6	(2/12)	(12/20)
1994	12.01	5.3	2.8	2.7	1.12	44.4	11.4	35.7
	12.08	5.9	2.1	2.3	0.78	41.1	(1/28)	(12/07)
1995	12.06	6.2	3.4	2.6	1.28	49.0	25.3	27.9
	12.13	5.0	2.6	2.2	1.05	45.0	(1/21)	(12/31)

表 1.2.6 渇水期の水質と流量（桂林水文観測所、及び龍門水質観測地点）

年	水質・流量 月 日	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	流量 (m^3/s)	通年最小 流量(m^3/s)	12月最小 流量(m^3/s)
1991	12.04	6.3	1.5	2.7	0.25	31.0	26.2	28.9
	12.11	3.0	1.0	2.0	0.33	34.4	(11/06)	(12/23)
1992	12.03	3.6	1.0	2.5	0.03	30.3	8.06	8.06
	12.14	1.7	1.1	2.6	0.82	12.0	(12/22)	(12/22)
1993	12.01	5.9	1.3	1.3	0.48	47.7	8.22	29.6
	12.08	7.3	1.2	1.4	0.43	43.6	(2/12)	(12/20)
1994	12.01	4.7	1.5	2.0	1.18	44.4	11.4	35.7
	12.08	5.4	1.2	2.1	0.76	41.1	(1/28)	(12/07)
1995	12.06	3.2	1.9	2.1	1.04	49.0	25.3	27.9
	12.13	2.2	1.6	2.0	1.17	45.0	(1/21)	(12/31)

※出典 水質データは桂林市環境保護局、流量データは広西壮族自治区水文・水資源局、桂林分局による。

(2)1996年洪水期の水質現況について

1996年12月の洪水期における補足水質調査結果を表1.2.7に示す。

表 1.2.7 漓江本川及び支川等水質調査結果 1996年12月14～19日

調査地点	河川名	漓江	漓江	漓江	漓江	甘棠江	南溪河	小東江	桃花江	榕湖	杉湖
単位		大河	龍門	磨盤山	陽朔大橋	合流前	南溪河口	劉家橋	南門橋	湖心	湖心
水温	mg/L	12.0	13.0	13.5	10.8	10.0	14.0	14.0	12.0	11.0	11.0
Ph	L	8.04	7.72	7.84	8.14	8.32	7.36	7.76	7.62	7.73	7.86
導電率	$\mu\text{S/cm}$	172	246	245	184	232	224	1240	193	403	387
SS	mg/L	8.8	9.0	6.0	10.8	13.6	19.6	15.8	13.4	19.8	14.6
TS	mg/L	151	190	193	188	143	165	843	135	276	260
DO	mg/L	8.9	4.0	5.4	10.0	9.8	4.5	0.2	5.2	0.7	4.0
COD(Mn)	mg/L	1.2	1.7	1.7	1.5	1.0	9.8	11.5	1.9	6.8	4.8
COD(Cr)	mg/L	12	19	12	8	8	25	259	10	35	34
BOD	mg/L	1.2	1.8	1.5	1.0	1.8	7.8	100	2.0	11.4	6.8
NH ₄ -N	mg/L	0.56	1.21	0.24	0.11	0.28	2.76	80.00	1.72	18.80	20.20
NO ₂ -N	mg/L	0.076	0.100	0.048	0.015	0.008	0.061	0.115	0.055	0.111	0.055
NO ₃ -N	mg/L	1.10	1.10	1.30	1.20	0.39	0.12	0.27	0.50	0.13	0.18
IN	mg/L	1.74	2.41	1.59	1.33	0.68	2.94	80.39	2.28	19.04	20.44
TP	mg/L	0.009	0.094	0.055	0.031	0.011	0.252	1.380	0.169	0.743	0.394
大腸菌群数	個/L	2300	23800	23800	23800	23800	>2380000	2380000	960000	2380000	238000

注) IN=NH₄-N+NO₂-N+NO₃-N

漓江本川については、洪水期においてもBOD濃度が1.0～1.8(mg/L)であり、比較的清澄であるといえる（最も汚濁の進行している閩鷄山～浄瓶山大橋の区間を除く）。

ただし、表1.2.8の1996年12月16日の自浄調査（桂林水文観測所付近・浄瓶山大橋、流量；12.0m³/s）結果によれば、浄瓶山大橋でBODが5.6(mg/L)を記録し、環境基準の3(mg/L)を超えており、閩鷄山～浄瓶山大橋の間の桂林都市部直下流域では水質汚濁が進行していることがわかる。ただし、龍門から下流域においては河川の自浄作用により水質が回復している。

また、DO濃度は閩鷄山～華僑農場にかけて6(mg/L)を下回っており、地面水水質基準Ⅱ類を満たしていない。この原因としては、河川の自浄作用の過程でDOが消費されるためであると考えられる。南溪河、小東江のDOがほぼゼロであるため、硫化水素などの還元性物質が発生し、そのため漓江本川でのDOの消費が大きくなっているものとみられる。

洪水期（冬季）の水質は平水期（夏季）に比べて、河川流量が小さいこと、水温

が低くなるため自浄係数が小さくなることから、水質が悪化することが考えられるが、今回の調査では、ほぼ予想通りの結果となった。

リン濃度は桂林都市部下流域の龍門～磨盤山にかけて0.055～0.094(mg/L)と高く、またNH₄-N濃度も龍門で1(mg/L)を超えており、これらの水域が桂林都市部から流入する排水により汚染されていることがわかる。

支川については、1996年8月の平水期の調査では南溪河が最も汚濁していたが、今回の洪水期調査では小東江の汚濁が特に著しい。

今回、靈渠入口、靈渠出口の過去10年間の水質データを入手した。それをみるとBOD濃度は通年にわたって1(mg/L)以下であり、靈川県の上流域の大溶江、小溶江、靈渠の水質はいずれも比較的清澈であることが明らかになった。

表 1.28 漓江洪水期現地調査結果 1996年12月16日

調査地点	単位	磨盤山	淨瓶山大橋	衛家渡	龍門	華僑農場
調査時刻	時分	***	***	***	***	***
水温	℃	14.0	14.0	14.5	14.5	14.5
全流量	m ³ /s	***	12.00	***	***	***
全断面積	m ²	***	18.18	***	***	***
到達距離	(km)	0	2.5	5.8	10.4	15.5
平均流速	m/s	0.10	0.66	0.25	0.09	0.07
DO	mg/L	5.5	4.3	3.2	4.2	4.0
BOD	mg/L	4.9	5.6	4.6	2.9	2.1
COD (5m)	mg/L	3.2	3.6	2.8	2.3	2.0
NH ₄ -N	mg/L	1.57	2.58	1.97	1.18	0.68

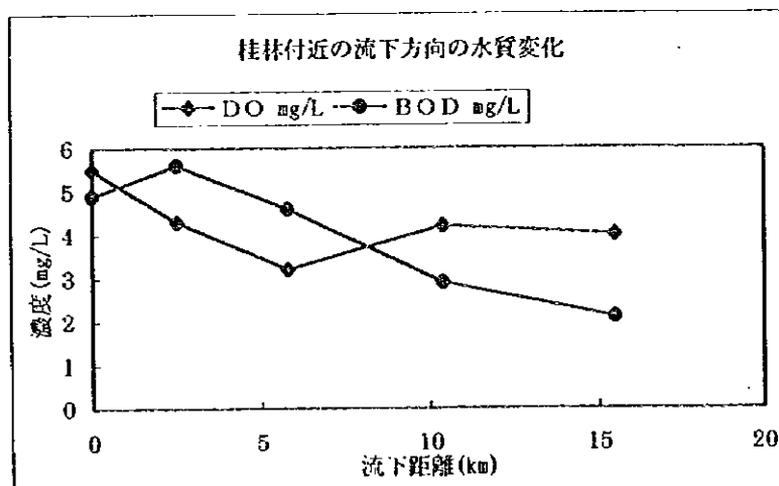


図 1.2.7 渇水期の流下に伴う水質変化の状況

1.3 榕湖、杉湖の水質状況

1996年8月に実施した補足調査結果を表 1.3.1 に示す。また、1991～1995年の年2回の定期水質調査結果を図 1.3.1 に示す。

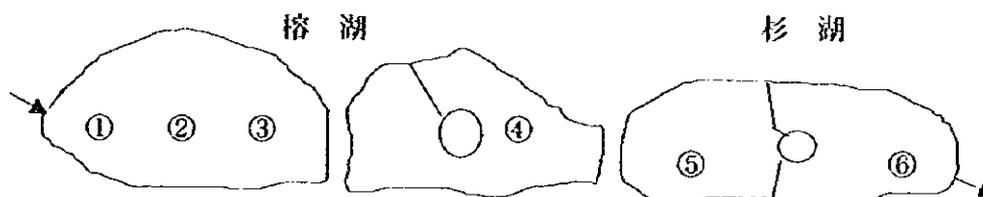
BOD の経年変化をみると、4.0～13.0(mg/L)、COD(Mn)は 3.9～9.9(mg/L)とかなり濃度が高く、BOD については環境基準Ⅲ類；4(mg/L)を常に越えている。

また 1996年8月の調査結果によれば、無機態窒素（I N = NH₄-N+NO₂-N+NO₃-N）が 2.49～2.77、全リン（TP）が 0.257～0.290 と富栄養化の原因物質である窒素、リンの濃度がきわめて高い状況である。この主要な原因は生活排水等の混入に由来するものと考えられる。また、榕湖入口では DO が 1.2(mg/L)と低く、杉湖に向かって次第に上昇し、杉湖出口では 6.1(mg/L)となっている。この DO 濃度の上昇は湖沼内における藻類の光合成作用によるものと考えられる。これらの調査結果は榕湖の流入水が流入口において既に生活排水等により汚染されていることを示している。

1996年12月の渇水期の調査においても8月と同様に、BOD、COD(Mn)、窒素、リン等の濃度が高く、榕湖、杉湖は常時水質が悪化しているといえる。

表 1.3.1 1996年8月21日 湖沼水質

調査地点	湖沼名	榕湖	榕湖	榕湖	榕湖	杉湖	杉湖
	単位	①	②	③	④	⑤	⑥
調査時刻	時分	9:10	9:20	9:30	9:40	9:50	10:00
水温	℃	27.6	27.8	27.9	28.1	28.6	25.8
電導度	μS/cm	173	177	175	177	181	182
DO	mg/L	1.2	1.5	1.1	2.5	4.4	6.1
飽和DO	mg/L	7.8	7.8	7.8	7.7	7.7	7.7
飽和率	%	15	19	14	32	57	79
pH		6.95	7.15	7.32	7.40	7.72	7.91



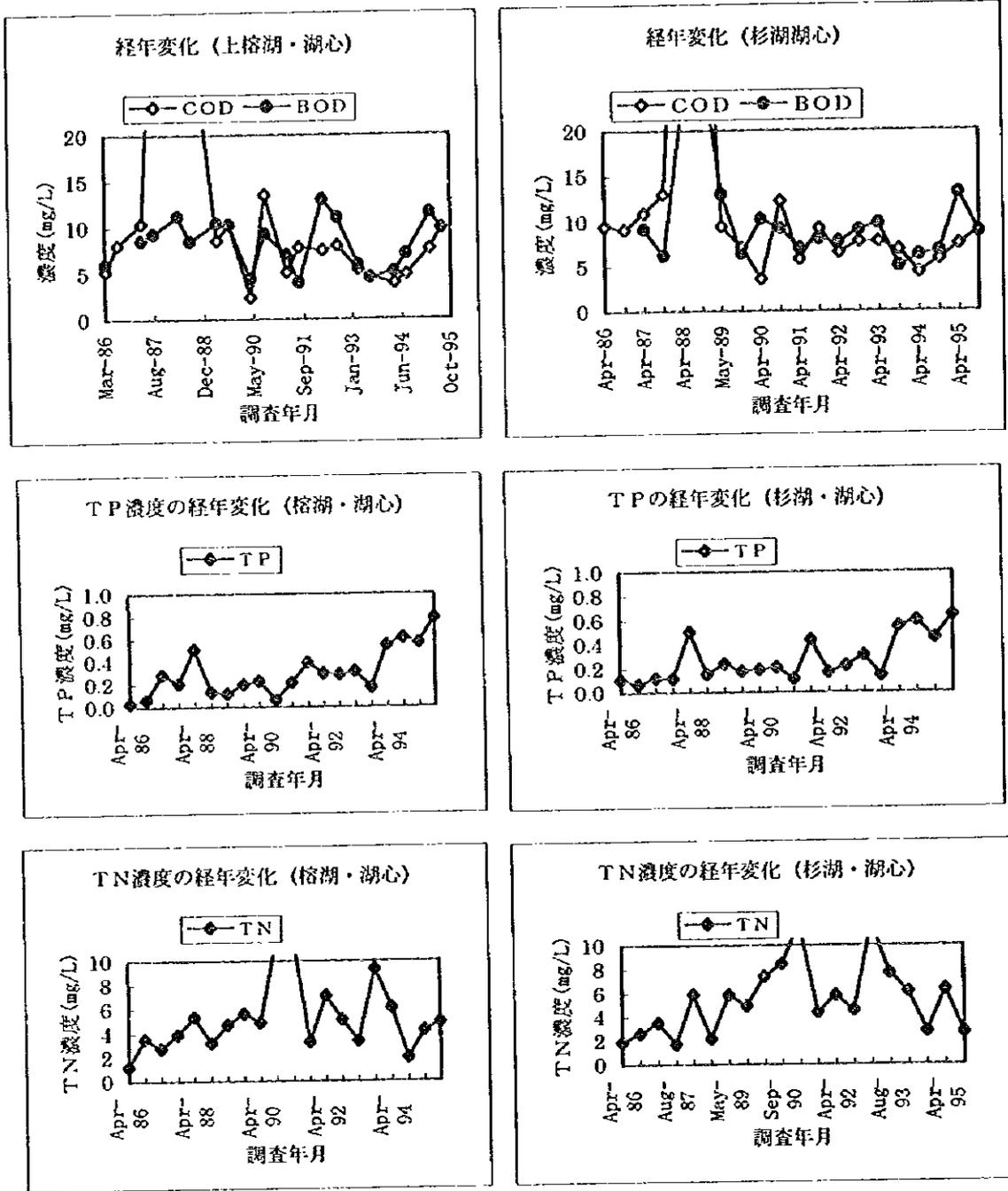


図 1.3.1 榕湖・杉湖の水質経年変化 (1991~1995年)

2. 自浄作用

2.1 自浄作用調査の概要

桂林市城区を中心とした漓江流域の経済の発展に伴い、生活污水や産業廃水による汚濁負荷が今後ますます増加することが想定されている。漓江流域の水環境を保全するためには、漓江本川等の自浄能力・環境容量を把握し、その範囲内に流域からの排出汚濁負荷量の総量を抑制することが必要である。

このような視点から、河川自浄作用現地調査を実施するとともに、比較対照のため併せて室内実験を行った。

なお、自浄作用調査は平水期（1996年9月）と渇水期（1996年12月）に各1回ずつ実施した。

表 2.1.1 自浄作用調査の構成（平水期、1996年9月）

調査名		対象河川水
現地調査		漓江本川（龍門→華僑農場）、桃花江（飛湾橋→甲山新橋）
室内実験	脱酸素係数	漓江本川（龍門）、桃花江（飛湾橋）
	振とう実験	漓江本川（龍門）、桃花江（飛湾橋）

表 2.1.2 自浄作用調査の構成（渇水期、1996年12月）

調査名		対象河川水
現地調査		漓江本川、5箇所（關鷗山、浄瓶山大橋、衛家渡、龍門、華僑農場）
室内実験	脱酸素係数	漓江本川（浄瓶山大橋）
	振とう実験	漓江本川（浄瓶山大橋）

2.2 平水期河川自浄作用現地調査（1996年9月）

(1) 調査区間の選定

調査区間の選定にあたっては、以下に示すような条件を考慮する必要がある。

○調査区間の必要条件

- ・ 取水、排水、横流入の少ない区間
- ・ 出発点と到達点との間の距離がとれる区間
- ・ 出発点の水質が悪く、流下に伴う水質濃度の減少が明確にみられる区間
- ・ 流量、流速の測定しやすい地点

上記の条件を踏まえて調査区間を検討した結果、漓江本川1カ所と主要な支川である桃花江の2箇所において、流下出発点と流下到達点での水質変化を測定するとともに、併せて同時に流速・流量を測定した。

現地調査地点と調査実施年月日を以下に示す。

- ①桃花江 1996年9月3日
- ②漓江本川 1996年9月5日

表 2.2.1 自浄作用調査区間の基礎データ

調査地点	出発点→到達点	到達距離(m)	平均流速(m/s)	所要時間(h)
桃花江	飛湾橋→甲山新橋	2240	0.22	2.8
漓江本川	龍門→華僑農場	5100	0.27	5.2

なお、小東江、南溪河については、横流入が多いために適当な調査地点が見あたらず、かつ汚濁が進行しており、DO がゼロに近いため、現状において自浄能力がほとんどないと考えられるので、自浄作用調査は実施しなかった。

なお、現地調査にあたっては、調達したエンジン付きゴムボートを使用した。

(2)測定項目

測定項目は、汚濁解析の視点から、流速(流量)、水温、DO、BOD、COD(Mn)、COD(Cr)、NH₄-Nとした。採水は各地点毎に30分間隔で3本採水し、分析試料とした。

(3)調査結果

現地調査の結果を表 2.2.2, 2.2.3 に示す。

表 2.2.2 桃花江自浄作用調査現地調査結果 1996年9月3日

調査地点	単位	(上流)				(下流)			
		飛湾橋	飛湾橋	飛湾橋	平均	甲山新橋	甲山新橋	甲山新橋	平均
調査時刻	時分	9:50	10:20	10:50		15:50	16:20	16:50	
水温	℃	27.0	27.1	27.2	27.1	28.3	28.3	28.3	28.3
電導度	uS/cm	156	156	156	156	159	159	159	159
DO	mg/L	6.0	5.9	5.8	5.9	6.0	6.0	5.9	6.0
飽和DO	mg/L	7.9	7.9	7.8		7.7	7.7	7.7	
飽和率	%	76	75	74		78	78	77	
全流量	m ³ /s	***	***	***	17.71	***	***	***	16.87
全断面積	m ²	***	***	***	53.74	***	***	***	147.1
平均流速	m/s	***	***	***	0.33	***	***	***	0.11
DO	mg/L	5.8	5.7	5.7	5.73	5.3	5.3	5.3	5.30
BOD	mg/L	0.8	0.6	0.8	0.73	1.2	0.9	0.9	1.00
COD(Mn)	mg/L	2.2	2.2	2.3	2.23	2.3	2.2	2.3	2.27
COD(Cr)	mg/L	6	6	8	6.7	2	8	8	6.0
NH ₄ -N	mg/L	0.42	0.41	0.47	0.433	0.39	0.40	0.40	0.397

表 2.2.3 漓江本川自浄作用調査現地調査結果 1996年9月5日

調査地点	単位	(上流)				(下流)			
		龍門	龍門	龍門	平均	華僑農場	華僑農場	華僑農場	平均
調査時刻	時分	10:00	10:30	11:00		16:00	16:30	17:00	
水温	℃	28.3	28.3	28.3	28.3	29.8	29.7	29.7	29.7
電導度	Us/cm	159	159	159	159	160	162	162	161
DO	mg/L	4.6	4.6	4.6	4.6	6.2	6.2	6.2	6.2
飽和DO	mg/L	7.7	7.7	7.7		7.5	7.5	7.6	
飽和率	%	60	60	60		83	83	82	
全流量	m ³ /s	***	***	***	107.81	***	***	***	105.19
河川幅	m	***	***	***	124.0	***	***	***	118.0
全断面積	m ²	***	***	***	339.32	***	***	***	509.12
平均流速	m/s	***	***	***	0.32	***	***	***	0.21
DO	mg/L	3.9	4.5	4.3	4.23	5.6	5.8	5.5	5.63
BOD	mg/L	0.9	1.0	0.8	0.90	0.4	0.6	0.3	0.43
COD(Mn)	mg/L	1.6	1.6	1.6	1.60	1.4	1.4	1.5	1.43
COD(Cr)	mg/L	8	8	14	10.0	4	4	4	4.0
NH ₄ -N	mg/L	0.70	0.61	0.65	0.653	0.47	0.46	0.46	0.463

2.3 平水期自浄作用調査・室内実験

室内実験用試料は流下出発点で、表面水を採水し、10リットルポリタンクに移し替えた。

以下の2つの地点で採水した。

○桃花江・飛湾橋、及び○瀘江・龍門

(1)脱酸素係数 K1 の測定

標準BOD試験方法に準拠して0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7日間の酸素消費量を測定し、この結果から脱酸素係数 K1 を求める。

脱酸素係数 K1 は、実験内容から水中微生物による有機物分解速度係数とみなすことができる。したがって、この中には沈降などによる減少分は含まない。

試験結果を表 2.3.1, 2.3.2 に示す。

表 2.3.1 桃花江 (飛湾橋) 脱酸素係数の試験結果

経過日数	0日目	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目
経過日数	0	1	2	3	4	5	6	7
消費DO(mg/L)	0.0	0.1	0.2	0.5	0.8	0.8	1.2	1.3
残存DO(mg/L)	6.3	6.2	6.1	5.8	5.5	5.5	5.1	5.0
ln(DO)	1.841	1.825	1.808	1.758	1.705	1.705	1.629	1.609

表 2.3.2 瀘江本川 (龍門) 脱酸素係数の試験結果

経過日数	0日目	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目
経過日数	0	1	2	3	4	5	6	7
消費DO(mg/L)	0.0	0.6	0.5	0.5	0.6	0.8	1.0	1.1
残存DO(mg/L)	5.5	4.9	5.0	5.0	4.9	4.7	4.5	4.4
ln(DO)	1.705	1.589	1.609	1.609	1.589	1.548	1.504	1.482

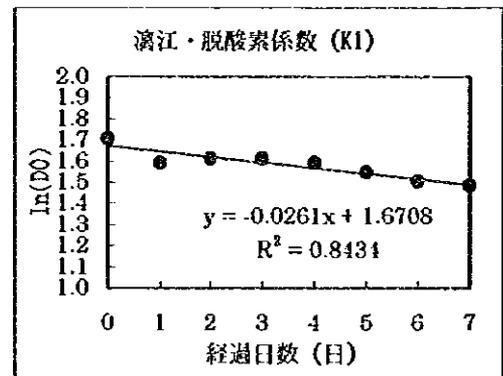
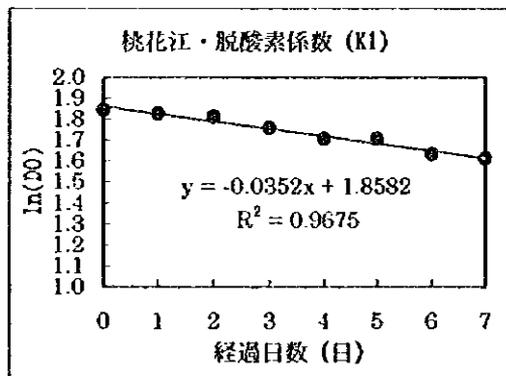


図 2.3.1 残存 DO の経時変化 (脱酸素係数実験)

残存DO(mg/L)のデータを用いて、LOGe(DO)を縦軸に、経過日数を横軸にとり、最小二乗法による直線の傾きから、脱酸素係数 K1(1/day)を求めた。

その結果、桃花江で K1=0.035，瀉江で K1=0.026 を得た。これは文献データと比べると1オーダー程度低い数値となっている。

(2)振とう実験

①実験方法

自浄作用現地調査結果との比較対照のため、調達した振とう実験装置を用いて室内連続振とう実験を実施した。

分析項目は、自浄作用現地調査項目と同様に水温、DO、BOD、COD(Mn)、COD(Cr)、NH₄-Nとする。温度条件は室温（28℃）とした。

実験分析間隔は、各0,2,4,8,24,48時間の各6回とする。

「2地点×各6回=計12検体」

※実験条件としては、大気開放状態で連続旋回振とう方式・「飛沫が外に飛ばないゆっくりした振とう」とした。

※振とう速度 1分間；50回 ガラスビン 1000mL×5個

②実験結果

振とう実験の試験結果を表 2.3.3，2.3.4 に示す。

表 2.3.3 桃花江（飛湾橋）振とう実験の試験結果

経過時間 (時)	0 (h)	2 (h)	4 (h)	8 (h)	24 (h)	48 (h)
BOD(mg/L)	0.8	0.9	1.0	0.8	1.1	1.2
DO(mg/L)	5.7	6.7	6.5	6.5	6.5	6.5
COD(Mn)(mg/L)	2.3	2.1	2.1	2.2	2.3	2.2
COD(Cr)(mg/L)	8.0	12.0	9.0	8.0	12.0	12.0
NH ₄ -N(mg/L)	0.47	0.41	0.41	0.41	0.34	0.16

表 2.3.4 瀉江本川（龍門）振とう実験の試験結果

経過時間 (時)	0 (h)	2 (h)	4 (h)	8 (h)	24 (h)	48 (h)
BOD(mg/L)	0.8	0.7	1.0	1.1	1.1	1.2
DO(mg/L)	4.3	5.8	6.2	6.3	6.2	6.4
COD(Mn)(mg/L)	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6
COD(Cr)(mg/L)	14.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
NH ₄ -N(mg/L)	0.65	0.58	0.58	0.58	0.58	0.59

2.4 濁水期現地自浄作用調査

(1)調査区間の選定

桃花江については、流下時間が比較的短く自浄作用がそれほど期待できないと判断し、調査は漓江本川だけとし、流下方向の水質変化を詳細に把握するために、BOD濃度ピークが現れる地点付近から下流の5箇所を調査地点として選定した。

調査地点は、下流に向かって鬪鷄山、浄瓶山大橋、衛家渡、龍門、華僑農場の5箇所とした。

なお、流況から浄瓶山大橋を流量調査実施地点とした。

① 漓江本川 1996年12月16日

表 2.4.1 自浄作用調査区間の基礎データ

調査地点	単位	鬪鷄山	浄瓶山大橋	衛家渡	龍門	華僑農場
到達距離	(km)	0	2.5	3.3	4.6	5.1
流速	(m/s)	0	0.38	0.46	0.17	0.08
到達時間	(hour)	0	1.83	2.01	7.52	17.71
通算距離	(km)	0	2.5	5.8	10.4	15.5
通算時間	(hour)	***	0.00	2.01	9.53	27.24

(2)測定項目

測定項目は、汚濁解析の視点から、流速（流量）、水温、DO、BOD、COD(Mn)、NH₄-Nとした。

採水・測定は上流～下流に向けて各地点毎に1本採水し、分析試料とした。

(3)調査結果

現地調査の結果を表 2.4.2 に示す。

表 2.4.2 漓江自浄作用・現地調査結果 1996年12月16日

調査地点	単位	鬪鷄山	浄瓶山大橋	衛家渡	龍門	華僑農場
調査時刻	時分	***	***	***	***	***
水温	℃	14.0	14.0	14.5	14.5	14.5
全流量	m ³ /s	***	12.00	***	***	***
全断面積	m ²	***	18.18	***	***	***
平均流速	m/s	0.10	0.66	0.25	0.09	0.07
DO	mg/L	5.5	4.3	3.2	4.2	4.0
BOD	mg/L	4.9	5.6	4.6	2.9	2.1
COD(Mn)	mg/L	3.2	3.6	2.8	2.3	2.0
NH ₄ -N	mg/L	1.57	2.58	1.97	1.18	0.68

2.5 濁水期自浄作用調査・室内実験

室内実験用試料は浄瓶山大橋で表面水を採水し、10リットルポリタンクに移し替えた。

(1)脱酸素係数 K1 の測定

試験結果を表 2.5.1 に示す。

表2.5.1 瀧江本川（浄瓶山大橋）脱酸素係数の試験結果

経過日数	0日目	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目
経過日数	0	1	2	3	4	5	6	7
消費DO(mg/L)	0.0	2.6	3.5	4.7	5.2	5.6	6.3	6.9
残存DO(mg/L)	7.4	4.8	3.9	2.7	2.2	1.8	1.1	0.5
ln(DO)	2.001	1.569	1.361	0.993	0.788	0.588	0.095	

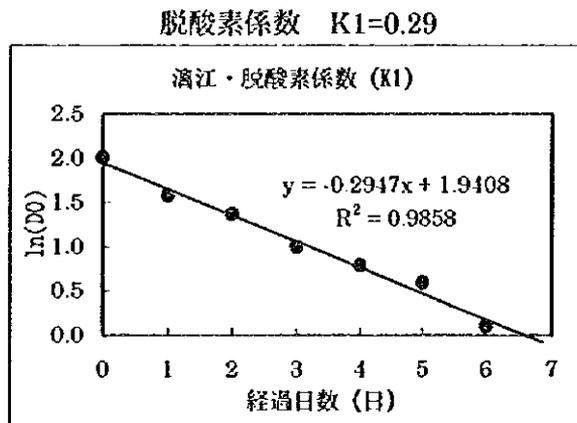


図 2.5.1 残存DOの経日変化

残存DO(mg/L)のデータを用いて、 $\text{LOGe}(\text{DO})$ を縦軸に、経過日数を横軸にとり、最小二乗法による直線の傾きから、脱酸素係数 $K_1(1/\text{day})$ を求めた。

その結果、瀧江本川で $K_1=0.29$ を得た。

(2)振とう実験

①実験方法

自浄作用現地調査結果との比較対照のため、調達した振とう実験装置を用いて室内連続振とう実験を実施した。

分析項目は、自浄作用現地調査項目と同様に水温、DO、BOD、COD(Mn)、NH₄-Nとする。温度条件は室温（20℃）とした。

実験分析間隔は、各0,2,4,8,24,48時間の各6回とする。

「2地点×各6回=計12検体」

※実験条件としては、大気開放状態で連続旋回振とう方式・「飛沫が外に飛ばないゆっくりした振とう」として沈殿物はデカンター方式で除去して上澄み液を分析試料とした。

※振とう速度 1分間；50回 ガラスビン 1000mL×5個

②実験結果

振とう実験の試験結果を表 2.5.2 に示す。

表 2.5.2 瀧江本川（浄瓶山大橋）振とう実験の試験結果

経過時間 (hour)	0	2	4	8	24	48
経過時間 (day)	0	0.083	0.167	0.333	1.000	2.000
BOD(mg/L)	5.6	4.3	4.8	3.9	2.2	0.9
DO(mg/L)	7.4	7.4	6.6	7.7	7.9	8.3
COD(Mn)(mg/L)	3.6	3.4	3.2	2.8	2.4	2.2
NH ₄ -N(mg/L)	2.58	2.56	2.44	2.34	2.33	2.19
ln(BOD)	1.723	1.459	1.569	1.361	0.788	-0.105
ln(COD)	1.281	1.224	1.163	1.030	0.875	0.788
ln(NH ₄ -N)	0.948	0.910	0.892	0.850	0.816	0.784

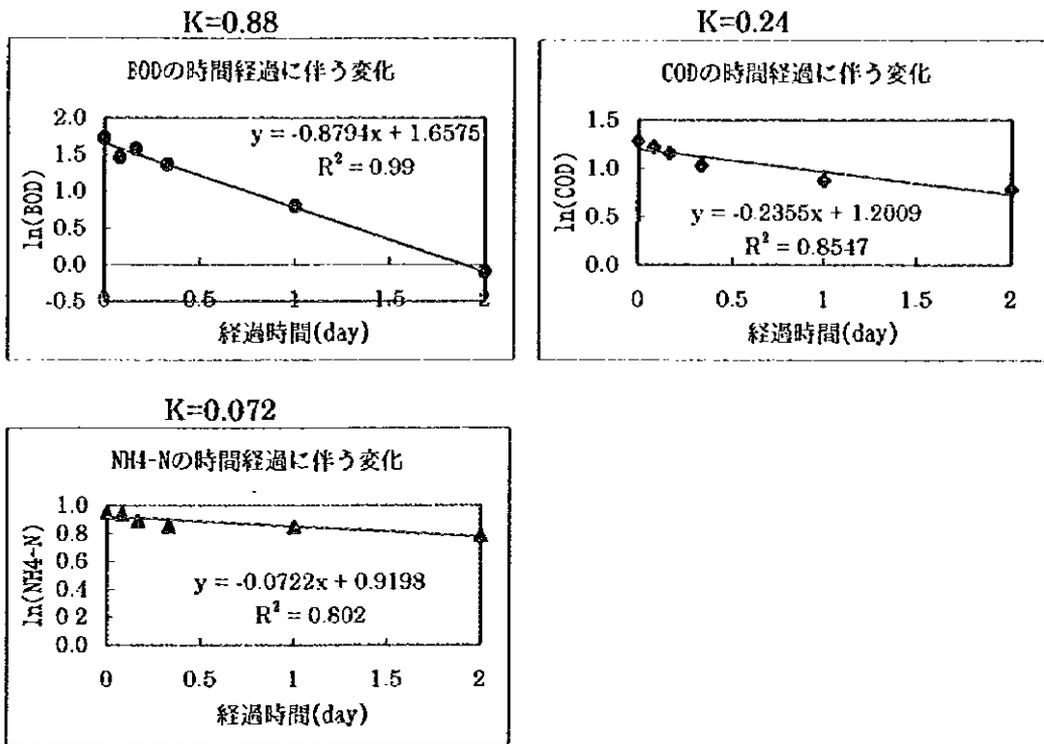


図 2.5.2 室内実験から求めた自浄係数

2.6 自浄作用係数の検討

(1) BOD減少速度係数の検討

現地調査の結果から、分解・沈殿を含めた総合的BOD減少速度定数(Kr)は次式により算出できる。

BOD減少反応は一次反応として近似できるので、 $dC/dt = -Kr \cdot C$
積分すると、 $C = C_0 \cdot e^{-Kr \cdot t}$ 、故に $\ln(C) = -Kr \cdot t + \ln(C_0)$
したがって、2地点だけで測定している場合は、 $Kr = \ln(C_0/C) / t$ で計算できる。
 $Kr(1/day) = (\ln(\text{BOD上流濃度} / \text{BOD下流濃度})) \cdot 24(h) / \text{到達時間}(h)$
また、3地点以上で測定している場合は、横軸に $t(\text{day})$ 、縦軸に $\ln(C)$ をプロットし、最小二乗法による直線の傾きから Kr を求めることができる。

平水期の場合、

漓江本川については、 $Kr = \ln(0.90/0.43) \cdot 24 / 5.2 = 3.4$

桃花江については、上流濃度 < 下流濃度なので、計算不能。

一般に、自浄作用調査である程度の精度を保つためには、対象BOD濃度が3(mg/L)程度あるのが望ましいが、平水期の漓江本川、及び桃花江の調査については、対象BOD濃度が約1(mg/L)と低すぎるため、調査・分析データの精度については、割り引いて考慮する必要がある。

濁水期の場合、4～5箇所を観測しているため、横軸に $t(\text{day})$ 、縦軸に $\ln(\text{BOD})(\text{mg/L})$ をとって最小二乗法による直線の傾きから、Kr を求めればよい。

一般に、総合的BOD減少係数と脱酸素係数との関係は、次式により表される。

$$Kr = K1 + K3 \quad \text{ただし、} Kr ; \text{総合的BOD減少係数}(1/day)$$

$K1$; 脱酸素係数(1/day)

$K3$; 沈殿、付着等によるBOD減少係数(1/day)

表 2.6.1、図 2.6.1 に調査結果から得られた数値を整理したものを、表 2.6.2 に文献による既往調査データの事例を示す。

文献によれば Kr は $K1$ のおおよそ2倍程度の値となるのが普通である。

表 2.6.1 瀋江自浄作用・現地調査結果 1996年12月16日

調査地点	単位	鬮鷄山	淨瓶山大橋	衛家渡	龍門	華僑農場
調査時刻	時分	***	16:00	***	***	***
水温	℃	14.0	14.0	14.5	14.5	14.5
全流量	m ³ /s	***	12.00	***	***	***
全断面積	m ²	***	18.18	***	***	***
到達距離	(km)	0	2.5	5.8	10.4	15.5
平均流速	m/s	0.10	0.66	0.25	0.09	0.07
DO	mg/L	5.5	4.3	3.2	4.2	4.0
BOD	mg/L	4.9	5.6	4.6	2.9	2.1
COD(Mn)	mg/L	3.2	3.6	2.8	2.3	2.0
NH4-N	mg/L	1.57	2.58	1.97	1.18	0.68

到達時間	(hour)		0.00	2.01	9.53	27.24
到達時間	(day)		0.00	0.08	0.40	1.14
ln(BOD)			1.723	1.526	1.065	0.742
ln(COD)			1.281	1.030	0.833	0.693
ln(NH4-N)			0.948	0.678	0.166	-0.386

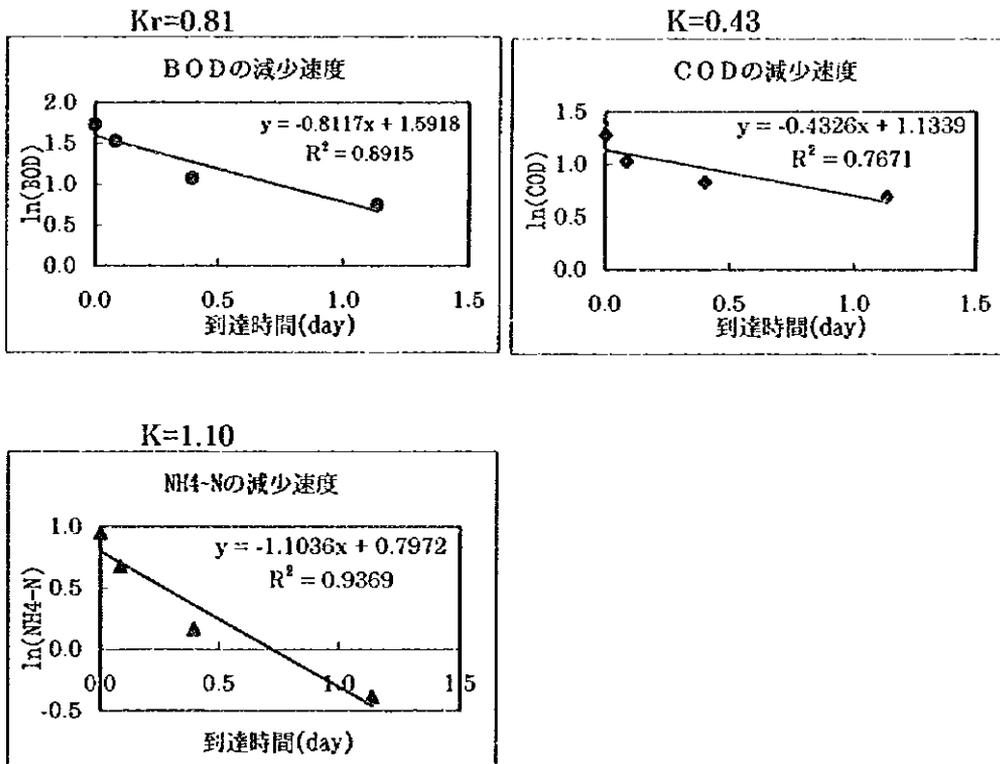


図 2.6.1 現地自浄作用調査から求めた自浄係数 (濁水期)

表 2.6.2 BOD (有機物) などの減少速度定数値の例 (底はe)

河川名	研究者名	河川の特徴、調査地点など 水深(m) , 幅(m) , 流速(m/s)	速度定数 (1/day)	定数 分類	備考
淀川	南部	(枚方付近)	BOD:0.72 , 0.88 BOD:0.20 , 0.26	① ③	
	岩井ら	(枚方付近)	BOD:0.75	①	
	田辺	(上枚付近)	BOD:1.26		
	建設省	(志茂~永代)	BOD:0.197~0.358	③	*1
隅田川	手塚ら		BOD:0.16~0.46	③	*2
	多摩川		COD:0.76~1.34	①	
多摩川	半谷ら		BOD:0.35~1.45		
	土屋ら		BOD:0.23~4.33	①	
木曾川	田辺	(大井)	BOD:0.55		
相模川	京浜地区協	(強瀬)	BOD:0.74		
石狩川	洞沢		BOD:0.66~0.88		
	丹保ら	(旭橋)	BOD:1.61 , 3.22		
筑後川	楠田		BOD:0.25~0.39	①	
黒瀬川	楠田		BOD:0.71~7.6	①	
千曲川	楠田		BOD:2.76~5.5	①	
淀川流入利根川	津野、占部	0.4 5 0.2~0.5	BOD:0.44~0.66	③	
Ohio 川	Phelps		BOD:0.28 , 0.92		
Hudson 川	Oconner		BOD:0.58		
Merrimack 川	Camp		BOD:0.12~0.18		*3
Ogumpa 川	Ajayiら	0.12~0.81 0.15~0.67	BOD:3.2	①	
***	Harremoes	1	BOD:0.3	②	*4
***	Gundelach	0.5	BOD:0.4	②	*5
Roanoke 川	Bathalaら	1~2(小河川)	BOD:0.50~0.70	②	
	Chaddertonら	(緩慢)3.0~6.1 0.03~0.15	BOD:0.033~0.08	②	
		(低速)0.9~3.0 0.03~0.15	BOD:0.05~0.67		
		(中間)0.6~1.5 0.15~0.61	BOD:0.5~2.5		
	(急流)0.6~3.5 0.61~1.83	BOD:0.2~3.3			
Ganga 川	Bhargava	水処理場の直下で浮遊物多し	D-BOD:3.5	②	*6
Yamuna 川	Bhargava	下水処理場の直下で浮遊物多し	D-BOD:1.4	②	*7
North Buffalo 川	Williamsら	0.3 0.08~0.20	CBOD:0.65~1.5	②	
		0.2 0.06~0.34	脱酸素係数:0.1~0.65 CBOD:0.65		
		0.3 0.04~0.06	脱酸素係数:0.4 CBOD:0.5	②	
Knap of Reed 川			脱酸素係数:0.1		
Holston 川	Novotnyら	0.55~1.28 (浅く乱れの大きい小河川)	BOD:0.12	③	

(注)1.定数分類表以下による

- ①総合的除去速度定数(1/day)---浮遊性微生物による分解+付着微生物による分解+沈殿
- ②生物学的除去速度定数(1/day)---浮遊性微生物による分解 (+付着微生物による分解)
- ③生物学的除去速度定数(1/day)---浮遊性微生物による分解

2.備考欄の*1~*7は以下のとおり

- *1:18.1℃ *2:20.0℃ *3:沈降0.11~1.13 *4:沈降1(m/h) *5:沈降0.05(1/day)
- *6:P-BOD=9(1/day) 沈降 40(1/day) *7:P-BOD=5.0(1/day)

(2)再曝気係数(K2)の検討

河川において汚濁負荷の流入によりいったんDO濃度は減少するが、流下過程における大気中からの酸素の供給により、次第に回復する。この酸素供給速度定数を再曝気係数と呼ぶ。

再曝気係数を現地調査から得ることは困難なので、計算式により求めた。

特に村上の式は導出過程での理論的な背景が明らかにされていることから、村上の式を用いて計算した。

再曝気係数の一般的な数値、測定値例、村上による計算式を表 2.6.3~2.6.4 に示す。

表 2.6.3 再曝気係数の代表値

流況	水深(m)	流速(m/s)	再曝気係数(1/day)
緩慢流	3.05~6.10	0.03~0.15	0.05~0.10
低速流	0.92~3.05	0.03~0.15	0.10~1.0
中速流	0.61~1.52	0.15~0.61	1.0~5.0
急流	0.61~3.05	0.61~1.83	1.0~10.0

表 2.6.4 河川における酸素再曝気係数の測定値例

河川名	研究者名	水深(m)	流速(m/s)	勾配(m/km)	再曝気係数(1/day)
ユ-ツ-ラトの河川	Wilcock	0.19~1.2	0.16~0.46	***	1.8~12.0
Delware川支流	細川	0.2	0.1	3.2	18~20
Ogunpa川(オグンパ)	Ajayiら	0.12~0.81	0.15~0.67	***	0.7~28.7
Ganga, Yamura川(ガンガ)	Bhargava	***	0.20~0.54	***	5~9
North Buffalo川	Williams	0.21~0.3	0.08~0.20	1.0~1.1	3.7~6.7
North Buffalo川	Williams	0.21	0.34	1.0	22.8
Knap of Reed川	Williams	0.3	0.04~0.08	0.45	0.56~1.9

◎再曝気係数の理論式(村上の式)

$$K_2 = C_3 g^{3/8} \rho^{1/2} \nu^{3/8} D^{1/2} n^{3/4} V^{2/3} / (\sigma^{1/2} H^{3/2})$$

重力加速度	$g=9.8\text{m/s}^2$	水温	$t=20^\circ\text{C}$
密度	$\rho=0.998 \times 10^3\text{kg/m}^3$	動粘性係数	$\nu=1.0105 \times 10^{-4}\text{m}^2/\text{s}$
分子拡散係数	$D=2.037 \times 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$	表面張力	$\sigma=7.275 \times 10^{-2}\text{kg/s}^2$
粗度係数 = n	平均流速 = V	水深 = H	

$$k_2 = 22.56 \times n^{3/4} V^{9/5} / H^{3/2}$$

備考) 式の形から水深が深いほど k_2 は小さくなるが、これは酸素が専ら水面から供給されるためである。

村上の式による再曝気係数の計算結果を表 2.6.5 に示す。

表 2.6.5 桃花江、及び瀉江における村上の式による再曝気係数の計算事例

河川名	C (底10)	粗度係数 n	平均流速 V	水深 H	再曝気係数	再曝気係数(底 e)
桃花江 (平水期)	22.56	0.04	0.22	1.8	0.152	0.35
瀉江 (平水期)	22.56	0.04	0.26	3.5	0.068	0.16
瀉江 (濁水期)	22.56	0.04	0.27	1.0	0.463	1.07

注) 1996年9月、12月の調査データを使用し、粗度係数=0.04として計算した。

上表 2.6.5 に示したように再曝気係数は桃花江で 0.35、瀉江本川では平水期で 0.16、濁水期で 1.07 を得た。

(3) COD(Mn)、COD(Cr)の減少速度係数の検討

COD減少速度定数はBODと同様の考え方により、求めることができる。即ち、

$$K_r(1/day) = (\ln(\text{COD上流濃度} / \text{COD下流濃度})) * 24(h) / \text{到達時間}(h)$$

以下に計算結果を示す。

$$\text{瀉江本川については、} K_r = \ln(1.60/1.43) * 24/5.2 = 0.52 \quad \text{COD(Mn)}$$

$$K_r = \ln(10/4) * 24/5.2 = 4.23 \quad \text{COD(Cr)}$$

桃花江については、上流濃度<下流濃度のため、計算不能。

(4) NH₄-N減少速度係数の検討

NH₄-Nについてもその減少反応を一次反応と仮定すれば、BODと同等の計算が成り立つ。即ち、

$$K_r(1/day) = (\ln(\text{NH}_4\text{-N上流濃度} / \text{NH}_4\text{-N下流濃度})) * 24(h) / \text{到達時間}(h)$$

$$\text{瀉江本川については、} K_r = \ln(0.653/0.463) * 24/5.2 = 1.59$$

桃花江については、 $Kr = \ln(0.433/0.397) \cdot 24/2.8 = 0.74$

また、振とう実験の結果から、脱酸素係数の項と同様に、横軸に経過日数・縦軸に $\text{LOGe}(\text{NH}_4\text{-N 濃度})$ をとって最小二乗法による直線の傾きを求めると、

漓江本川については、 $(Kr = 0.015) \quad Y = -0.015 \cdot X - 0.514 \quad r = 0.249$

桃花江については、 $(Kr = 0.49) \quad Y = -0.491 \cdot X - 0.763 \quad r = 0.967$

を得た。

調査内容によって得られる結果はばらついているが、これは水質調査の調査精度、分析精度の面から、致し方のないところである。

$\text{NH}_4\text{-N}$ の減少速度の一般的な事例を表 3.7.29 に示す。

一般に河川での硝化作用は河床付着微生物、底質中微生物等により行われる。

これは、単位河床（底質）面積当たりの硝化速度 ($\text{mgN}/\text{m}^2/\text{day}$) での取り扱いが多く、おおむね $500 \sim 5000 (\text{mgN}/\text{m}^2/\text{day})$ の範囲の値が多く示されている。

また、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度に関して 1 次反応で関与するとした取り扱いでは、 $0.5 \sim 2.8 (\text{m}/\text{day})$ の範囲の値が多い。

表 2.6.6 硝化・脱窒などの速度定数値の例

河川名	研究者名	河川の特徴、調査地点など 水深(m) , 流速(m/s)	速度定数
阿武隈川	徐、 佐藤ら	(河口部に比較的近い地点)	0.014mgNH ₄ -N/ngSS/day
	Novotny		0.02~0.13(1/day)
実験水路	長岡ら	0.055~0.087 , 0.034~0.162 (浸透れき床厚0.115m)	0.03~0.06mgN/cm ² /h 25°C
Roanoke 川	Bathalaら	1~2 (小河川)	0.11(1/day) , 総括
North Buffalo 川	Williamsら	0.30 0.08~0.20	Org-N:沈降0~2.0(1/day) 加水分解0.4 硝化850~1350mgN/m ³ /day 脱窒300~1370mgN/m ³ /day
		0.21 0.06~0.34	Org-N:加水分解0.4 硝化850mgN/m ³ /day 脱窒300mgN/m ³ /day
Knap of Reed 川		0.30 4~6cm/day	Org-N:沈降1.2,加水分解0 硝化850mgN/m ³ /day 脱窒300mgN/m ³ /day
Waiohewa 川 Waitoa 川 Waiotapu 川 Waikare 川 Waikato 川	Nealら	0.30 0.30	浮遊性微生物による硝化 $\mu_n=0.8\sim1.6(1/day)$ $K_n=2.0\sim4.0mgN/L$ $Y=0.24\sim0.30\times 10^{12}cells/gN$ $B_n=0.1\sim4.6\times 10^8cells/m^3$

付着微生物による硝化——0次反応

Willamete 川	Dunnetteら	1.6	520mgN/m ² /day
Oostanaula 川	Lobez-Belnal	0.60	3200mgN/m ² /day
Trace 川	Lobez-Belnal	0.50	2500mgN/m ² /day
Mud 川	Lobez-Belnal	1.0	80mgN/m ² /day
South	Lobez-Belnal	0.80	590mgN/m ² /day
Chickamauga 川			
Mine 川	Tuffeyら	0.20	4600mgN/m ² /day
Waiotapu 川	Nealら	0.4~0.7	5000~5600mgN/m ² /day
Waiohewa 川	Nealら	0.30	28000~5600mgN/m ² /day

付着微生物による硝化——水中濃度に関する1次反応

Willamete 川	Hinesら	1.6	2.6m/day
Speed 川	Gowda	0.40	0.07~2.03m/day
Oostanaula 川	Lobez-Belnal	0.60	0.49m/day
Sweet Water 川	Lobez-Belnal	0.50	0.37m/day
Trace 川	Lobez-Belnal	0.50	1.0m/day
Mud 川	Lobez-Belnal	1.0	0.5m/day
South	Lobez-Belnal	0.80	5.5m/day
Chickamauga 川			
Shenandoah 川	Debら	0.70~0.9	0.15~1.18m/day
Mine 川	Tuffeyら	0.20	1.2m/day
Waiotapu 川	Nealら	0.40~0.7	0.6~2.8m/day
Waiohewa 川		0.30	1.6~1.9m/day

自浄作用調査結果から求めた各自浄係数の数値を整理したものを表 2.6.7 に示す。

表 2.6.7 自浄係数調査結果一覧

調査名	平水期調査		渇水期調査	渇水期室内実験	摘 要
	1996/9/3	1996/9/5	1996/12/16	1996/12/16-23	
項 目	桃花江	漓江	漓江	漓江・浄瓶山大橋	
BOD減少速度(Kr)	< 0	3.4	0.81	0.88	
COD(Mn)	< 0	0.52	0.43	0.24	
COD(Cr)	< 0	4.23	***	***	
NH4-N	0.74	1.59	1.10	0.072	
脱酸素係数(K1)	0.035	0.026	0.29	0.29	
再曝気係数(K2)	0.35	0.16	1.07	***	

※備考 平水期の調査データは水質濃度が低いため、計算結果の精度に問題がある。

平水期の調査データは水質濃度が低いため、計算結果の精度に問題がある。

脱酸素係数の平水期の結果は1オーダー程度小さい結果となっている。

渇水期においては、NH4-Nの結果は室内実験の計算結果が低すぎるとみられる。

BODについては、渇水期の調査データをみると、脱酸素係数(K1)=0.29、BOD減少速度係数(Kr)=0.81（現地調査）～0.88（室内実験）となり、この結果は文献値と比較して、ほぼ妥当な数値であると考えられる。

3. 計画中のプロジェクトによる水質改善効果

3.1 導水プロジェクトによる河川水質改善効果

漓江流域における導水プロジェクトは以下の3つに集約される。

- ① 義江から、桃花江を経由して漓江へ導水する。
- ② 五里峡ダムから霊渠を経由して漓江へ導水する。
- ③ 小溶江から青獅潭ダムへ導水する。

浄化用水としての導水による河川水質の改善効果を判断する考え方はおおよそ次のようになる。

一般に、2種類の河川水が合流して完全混合したときの水質は次式で表現できる。

$$C = (C_1 \cdot Q_1 + C_2 \cdot Q_2) / (Q_1 + Q_2)$$

ただし、 C (mg/L)；混合後の水質濃度

C_1 、 C_2 (mg/L)；混合前の各河川水の水質濃度

Q_1 、 Q_2 (m³/S)；混合前の各河川水の流量

したがって、導入する浄化用水の水質が良好で、かつ流量が大きいほど、導水による水質改善効果はあがることになる。

(1) 義江から桃花江を経由して漓江への導水（西水東調）

西隣の義江流域から漓江流域への導水事業は、西水東調とよばれている。漓江の支流である桃花江の現在の渇水期の最小流量は 0.6~1.0(m³/s)であるが、この導水事業により、渇水期において 5~6(m³/s)の供給が可能であるとされている。

現在特に渇水期の桃花江では水量不足により、アンモニア性窒素などの水質が悪化する傾向があるが、この導水プロジェクトの実施により、桃花江の渇水期の最小流量の約 5~10 倍の浄化用水が導水されることになるため、漓江の重要な支川であり、桂林市内を流れる主要な都市河川でもある桃花江の渇水期の水質は著しく改善されるものと思われる。

表 3.1.1 及び表 3.2.2 は義江の水質の一例を示したものであるが、BOD、COD などの有機性汚濁については、データが無いので現時点では判断しにくい。1996 年 9 月に流域を踏査した結果によれば、集落等を含めて流域内にこれといった汚染源がないこと、また水の透明度が 1 m 以上あり、清澄に見えることから、BOD、COD(Mn)濃度は 1mg/l、もしくはそれ以下のきわめて低い濃度であるものと想定される。

したがって、水質改善の面からは水質、水量とも良好でさしたる問題はなく、充分に改善効果が得られるものと考えられる。

表 3.1.1 義江水質 1996年9月15日

	河川名	義江	義江	義江	義江
調査地点	単位	宛田	五通堰	渡頭	両江
調査時刻	時分	11:00	11:30	12:20	12:50
水温	°C	24.1	26.6	28.4	29.5
電導度	uS/cm	81	112	129	137
DO	mg/L	7.8	8.0	6.6	7.5
飽和DO	mg/L	8.2	7.9	7.7	7.6
飽和率	%	95	101	86	99

表 3.1.2 義江(五通段)水質分析結果表 1991年4月

項目	単位	濃度	項目	単位	濃度
色度	度	8	塩化物イオン	mg/L	1.98
濁度	度	5	フッカ物付)	mg/L	<0.1
pH		7.5	シアン	mg/L	<0.002
総硬度	mg/L	66.5	ヒ素	mg/L	<0.01
鉄	mg/L	0.06	水銀	mg/L	<0.0002
マンガン	mg/L	<0.05	6価クロム	mg/L	<0.004
銅	mg/L	0.02	鉛	mg/L	<0.01
亜鉛	mg/L	<0.05	硝酸イオン	mg/L	<0.2
石油類	mg/L	<0.002	一般細菌	個/mL	1600
硫酸イオン	mg/L	<5	大腸菌群数	個/L	2300

注)「桂林市水資源規制 桂林市水利水電局 1995.2」より引用

(2) 五里峽ダムから霊渠から漓江への導水量の増加

現在の洪水期維持流量は6.71(m³/s)であるが、五里峽ダムを5m嵩上げするとさらに5(m³/s)の追加供給が可能である。

霊渠の水質については、現時点では詳細なデータを入手していないため、判断が難しいが、1996年8月の現地踏査、及び携帯式水質計による計測の結果から判断すると、大溶江、小溶江の水質に比べて、決して良好とは言えず、青獅潭ダムから下流の霊川市街地付近の甘棠江なみか、さらにそれより悪い水質であると想定される。

しかしながら、大溶江、小溶江に比べて流量が小さく、また霊渠分水地点から漓江・桂林市街地まで約70kmあることから流下過程での混合・希釈、及び漓江の自浄能力

が十分に機能するものと思われる。

(3) 小洛江から青獅潭ダムへの導水

主として水資源（渇水期の維持流量）の問題改善のための導水プロジェクトであり、汚染源がほとんど無い上流域内での流域変更であることから、平水期においては瀉江の水質にはほとんど影響を与えないものと思われる。

ただし、渇水期の維持流量は従来 $30(\text{m}^3/\text{s})$ に加えて、さらに $5(\text{m}^3/\text{s})$ 追加供給されることとなり、瀉江の渇水期の環境容量が増大・改善されるものと考えられる。

3.2 榕湖、杉湖のプロジェクト実施による水質改善効果

榕湖、杉湖の水質改善プロジェクトは以下の3案から構成されている。

①榕湖、杉湖に直接流入している約49カ所の排污水管を下水幹線へ接続して系外に排出する。

②底泥を0.9mの厚さで浚渫する。

③桃花江から $1 \text{ m}^3/\text{s}$ の流量で導水する。

この①～③の方法は比較的浅い、小さな湖沼の水質改善技術としては、いずれも効果的で妥当な方法であるとみられる。

一般に、浅い閉鎖性水域では豊富な栄養塩（N、P）があると、湖内における一次生産と底泥質の悪化との相互作用により、CODなどの水質が累進的に悪化する傾向がある。

②の底泥浚渫に関しては、1996年3～4月に底泥の性状調査を実施している。その分析結果によれば、水分（1.9～5.4%）、有機質（3.3～13.0%）、石油類（400～3000mg/kg）、重金属などの有害物質の含有濃度はCr（36～80mg/kg）、As（8～32mg/kg）、Zn（180～600mg/kg）、Pb（93～380mg/kg）、Hg（0.11～0.50mg/kg）である。これらの結果は、国家で定めた基準値以内に収まっており、浚渫土の農地還元などに伴う二次汚染の心配はないものと考えられる。

しかしながら、1996年8月の調査によれば、榕湖流入水付近のDOは、 1.2mg/L と低く、汚水混入の影響を受けているが、杉湖流出口付近に近づくにしたがって、DOは 6.1mg/L と高くなっている。

したがって、現時点では瀉江からの導水路＝榕湖流入水の水質は非常に汚濁しており、この汚染源対策が当面の課題として重要であるが、桃花江からの導水に切り換え

るか、もしくは瀧江から別の水路で導入すれば、榕湖流入水質は著しく改善され、環境基準のⅢ類に近づくものと思われる。

榕湖、杉湖の理論的な水交換周期は3～5日とされているが、③の浄化用水導入により、水交換周期が約半分の1～3日程度になり、水域の停滞性は著しく改善されるため、富栄養化の進行は抑制されるものとみられる。

これらのプロジェクトの実施により、現在BOD・N・Pなどが環境基準Ⅲ類を超過し、中程度の汚染と評価されている榕湖、杉湖の水質はかなり改善されるものと考えられる。

3.3 下水道整備の進展による生活排水由来の排出汚濁負荷の削減効果

(1) 下水道整備による汚濁負荷の削減効果

排水処理・下水道整備対策をしないで、このまま放置すると生活排水によるBOD排出汚濁負荷量は、今後急速に増加するものと予想されている。

汚水処理整備プロジェクトに関しては、琴潭区と北沖区の2箇所計画がある。

計画の諸元を表 3.3.1 及び表 3.3.2 に示す。

表 3.3.1 琴潭区将来予測汚水量

西暦年	2000年	2010年	2015年	備考
人口	15万人	18万人	18.6万人	
生活排水量	2.70万m ³ /日	4.86万m ³ /日	5.76万m ³ /日	
一人当り排水量	180 l/人/日	270 l/人/日	310 l/人/日	
工業排水量	2.53万m ³ /日	4.32万m ³ /日	5.55万m ³ /日	
合計排水量	5.23万m ³ /日	9.18万m ³ /日	11.31万m ³ /日	

表 3.3.2 北沖区将来予測汚水量

西暦年	2000年	2010年	2015年	備考
人口	8.2万人	10.0万人	16.0万人	
生活排水量	1.47万m ³ /日	2.70万m ³ /日	4.95万m ³ /日	
一人当り排水量	180 l/人/日	270 l/人/日	310 l/人/日	
工業排水量	0.79万m ³ /日	1.34万m ³ /日	1.73万m ³ /日	
合計排水量	2.26万m ³ /日	4.04万m ³ /日	6.68万m ³ /日	

表 3.3.3 琴潭区、北沖区合計将来予測汚水量

西暦年	2000年	2010年	2015年	備考
人口	23.2万人	28.0万人	34.6万人	
生活排水量	4.17万m ³ /日	7.56万m ³ /日	10.71万m ³ /日	
一人当り排水量	180 l/人/日	270 l/人/日	310 l/人/日	
工業排水量	3.32万m ³ /日	5.66万m ³ /日	7.28万m ³ /日	
合計排水量	7.49万m ³ /日	13.22万m ³ /日	17.99万m ³ /日	
BOD一人当り負荷量	35 g/人/日	45 g/人/日	50 g/人/日	
BOD発生負荷量	8,120 kg/日	12,600 kg/日	17,300 kg/日	
BOD削減負荷量	6,500 kg/日	10,000 kg/日	13,800 kg/日	
BOD全発生負荷量	16,450 kg/日	26,100 kg/日	32,000 kg/日	
BOD削減率	40%	38%	43%	

注) 下水処理場における処理効率を80%としてBOD削減負荷量を計算した。

BOD全発生負荷量は、桂林市都市部における将来予測データから引用した。

琴潭区、北沖区の下水道整備プロジェクトの実施により、西暦2000、2010及び2015年に、桂林市都市部において現状に加えてさらに、各々BOD全発生負荷量の40%、38%及び43%が削減されることとなる。

4. 汚濁負荷、下水処理、河川水質の将来予測

4.1 水質管理・予測モデルの考え方について

これまでに記述してきたように、漓江における最も重要な水質汚濁現象は有機性汚濁であると言える。

河川の非感潮区間における有機性汚濁の現象は、BODとDOの挙動によって表現できる。これについては世界的にみても、これまで多くの調査・研究が行われてきた。

図 4.1.1 に、漓江における水質管理・予測モデルの考え方を示す。この内容を具体的に展開することにより、汚濁負荷の発生、排出、河川への流達負荷量、河川での自浄作用、河川水質との間の相互関係が明らかにされる。

このうち、特に環境容量の概念について整理する。これまでの世界各地における研究・議論の結果から環境容量の考え方はおよそ次の二種類に分類できる。

(1)第一種環境容量

環境状態に一つの基準値を決め、そこまでの範囲で人間活動が適正に行えるとするもの

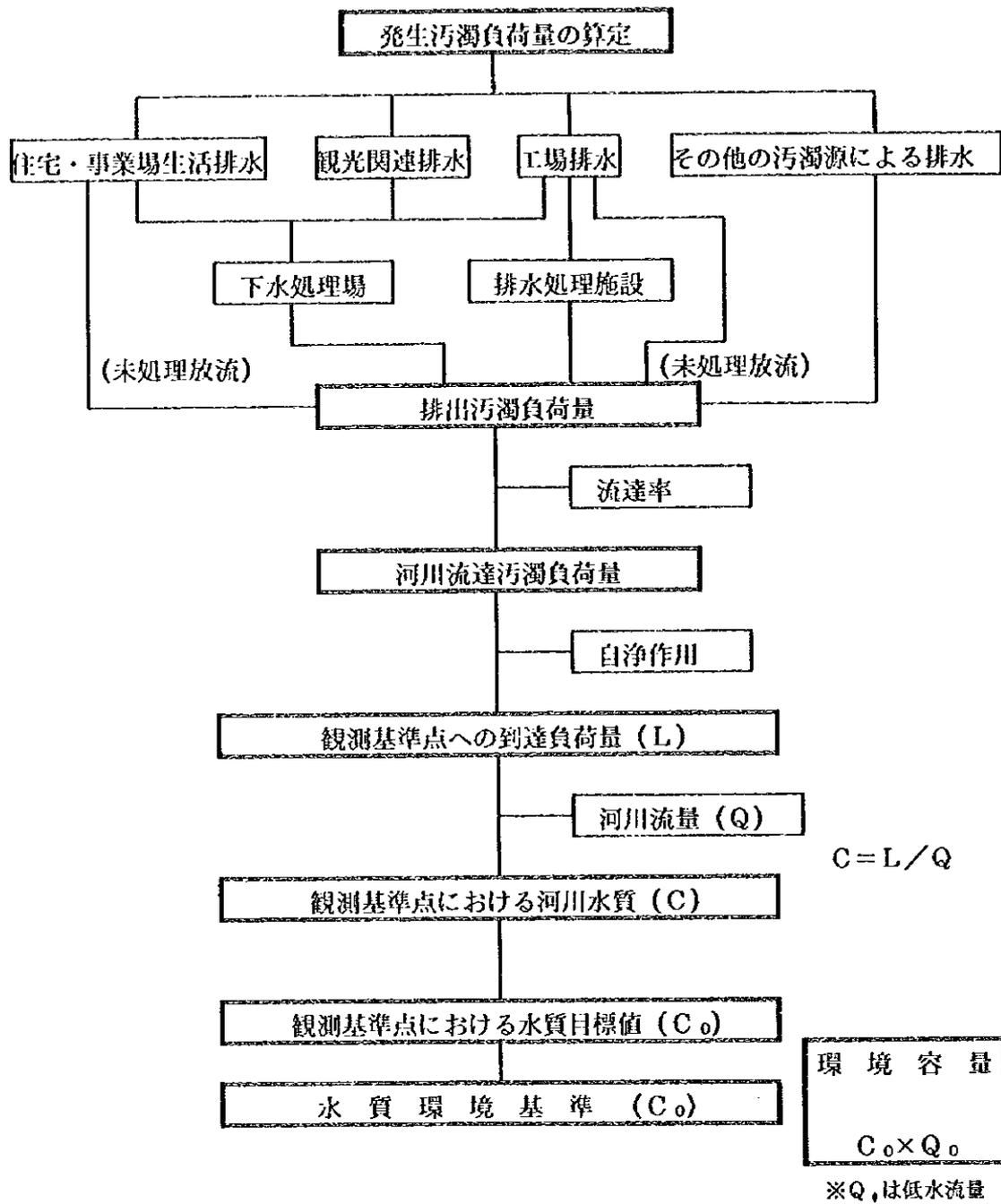
(2)第二種環境容量

環境をつくる自然生態系あるいは社会生態系が安定であるための絶対的な条件を見出し、そこまでが人間活動の限界であるとするもの

第二種の概念で具体性を持たせて展開することは現段階では困難であり、したがってこれまでは第一種環境容量が専ら活用されており、その代表的な具体例が水域における総量規制である。

このような背景から、漓江における環境容量は観測基準点における水質環境基準濃度と流量（低水流量、または平水流量）の積（ $C_0 \times Q_0$ ）から定められる。

実例として、BOD の環境基準が 3 (mg/l)であり、当該地点における低水流量が 40 (m³/s)であるとすれば、BOD の環境容量は 120(g/s)、または 10,400(kg/day)となる。



- (1) 流達率は排出負荷量の河川への到達率と解釈できるが、通常0.8とすることが多い。
- (2) 観測基準点は水質環境基準の設定地点（定期調査地点；大河、関鶏山、龍門、鷹盤山）を採用する。
- (3) モデルの適用にあたっては、漓江本川をブロック分割し、上流から下流に向けて逐次計算を行う。
- (4) 1995年の実測データから再現計算を行い、各パラメータを同定する。
- (5) 将来予測は人口予測、工業生産額・下水道整備の将来計画等に基づいて発生・排出負荷量を入力する。

図 4.1.1 済江水質予測・管理モデルの構造

河川における流下方向の DO、BOD の水質分布の計算式は自浄作用が考慮された Streeter-Phelps の式（修正式）に準拠する。

計算式の内容を以下に示す。

$$L=(L_0-P/K_r)*EXP(-K_r*t)+P/K_r$$

ただし L;X地点のBOD濃度(mg/L) L_0 ;X=0におけるBOD濃度(mg/L)
P;河床などから連続的に供給されるBOD濃度(mg/L) $P=0$
 $t=X/V$;流下時間(day)

$$D=K_1/(K_2-K_r)*(L_0-P/K_r)*(EXP(-K_r*t)-EXP(-K_2*t))$$

$$+K_1/K_2*(P/K_r)*(1-EXP(-K_2*t))+D_0*EXP(-K_2*t)$$

ただし D;X地点のDO不足濃度(mg/L) D_0 ;X=0におけるDO不足濃度(mg/L)
P;河床などから連続的に供給されるBOD濃度(mg/L) $P=0$
 $t=X/V$;流下時間(day)

(DO 不足濃度=DO 飽和濃度-DO 濃度) と定義される。

K1	脱酸素係数	at 20°C
K2	再曝気係数	at 20°C
K3	沈降・付着等による減少係数	at 20°C
$K_r=K_1+K_3$	総合的BOD減少係数	at 20°C

$K_1(T)=K_1*1.047^{(T-20)}$	K1係数の温度依存関数
$K_2(T)=K_2*1.024^{(T-20)}$	K2係数の温度依存関数
$K_r(T)=K_r*1.047^{(T-20)}$	K_r 係数の温度依存関数

4.2 現況再現計算

(1)現況再現計算における計算手順を図 4.2.1 に示す。

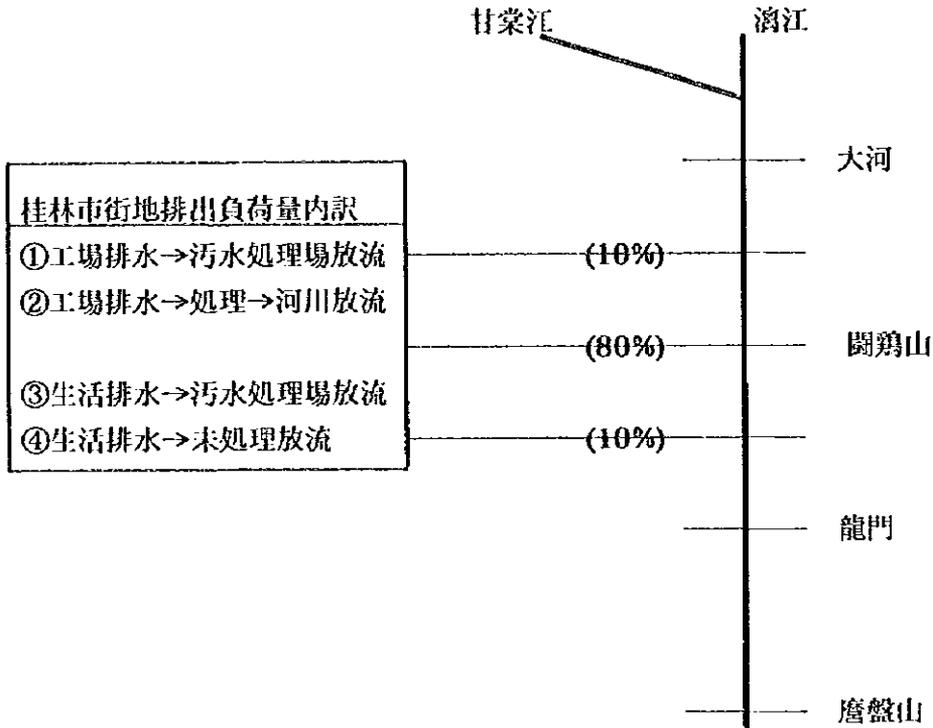


図 4.2.1 水質モデル計算の手順

(2)計算条件

- ・定常状態とみなし、拡散は無視する。
- ・河床からの舞い上がり、及び河床付着植物の光合成等による増減は無視する。
- ・1995年を再現計算基準年とし、特に年平均値を基礎とするが、渇水期も別途計算する。
- ・桂林市街地以外の地域からの汚濁負荷は無視する。
- ・大河を流下出発点とし、上流から下流に向かって逐次計算する。
- ・大河～關鷄山の間で汚濁負荷の10%が流入するものとする。
- ・關鷄山で汚濁負荷の80%が流入するものとする。
- ・關鷄山～龍門の間で汚濁負荷の10%が流入するものとする。

(3)各パラメータの数値

○発生、排出汚濁負荷量

- ・工場排水、全発生負荷量；11363(kg/day) = 131.5(g/s)

- ①下水道放流分；14% 処理・除去率；80% 3.7(g/s)
- ②河川直接放流分；86% 処理・除去率；48% 58.8(g/s)
- ・生活排水、全発生負荷量；17,525(kg/day) = 202.8(g/s)
 生活排水原単位；25(g/day/人) × 桂林市街地総人口；701,000(人)
 (原単位は 1996 年集合住宅実測値 21g に公共施設関連排水を加味した。)
- ③下水道放流分；53% 処理・除去率；80% 21.5(g/s) (下水道普及率=53%)
- ④河川直接放流分；47% 河川流達率；80% 76.2(g/s)

○流下出発点（大河）の河川水質、流量（平水期、1995 年平均値）

水温；19.0(°C) 流量；100.3(m³/s)
 BOD 濃度；0.67(mg/L) DO 濃度；7.68(mg/L)

○自浄係数（底は e）

脱酸素係数 K1；0.3 温度依存関数； $K1(T)=K1*1.047^{(T-20)}$
 再曝気係数 K2；0.2 温度依存関数； $K2(T)=K2*1.024^{(T-20)}$
 沈降等による減少係数 K3；0.5
 総合的 BOD 減少係数 $Kr(=K1+K3)$ ；0.8 温度依存関数； $Kr(T)=Kr*1.047^{(T-20)}$

○流下距離、流下時間

		大河	鬪鷄山	龍門	磨盤山
流下距離	(km)	0	10.5	21.3	32.8
平均流速	(m/s)	0.26	0.26	0.26	0.26
流下時間	(day)	0	0.47	0.95	1.46
区間流下時間	(day)		0.47	0.48	0.51

(4)再現計算結果

1995 年平均値による計算結果を表 4.2.1、及び図 4.2.2 に示す。

平均値による計算結果では、実測データと比べて鬪鷄山が低めの数値となっている。

また、洪水期における計算結果を表 4.2.2、4.2.3、及び図 4.2.3 に示す。

洪水期の計算結果では龍門、磨盤山が実測データと比べて高めの数値になっているが、これは自浄係数をやや低めに設定しているためと考えられる。

表 4.2.1 1995年平均値による再現計算結果

	単位	大河	圃鶏山	龍門	磨盤山
流下距離	(km)	0	10.5	21.3	32.8
推定流量	(m ³ /s)	100	106	133	150
観測BOD	(mg/L)	0.67	2.22	1.25	0.87
計算BOD	(mg/L)	0.67	1.80	1.37	0.82
観測DO	(mg/L)	7.68	4.58	3.55	5.10
計算DO	(mg/L)	7.68	7.71	7.62	7.60

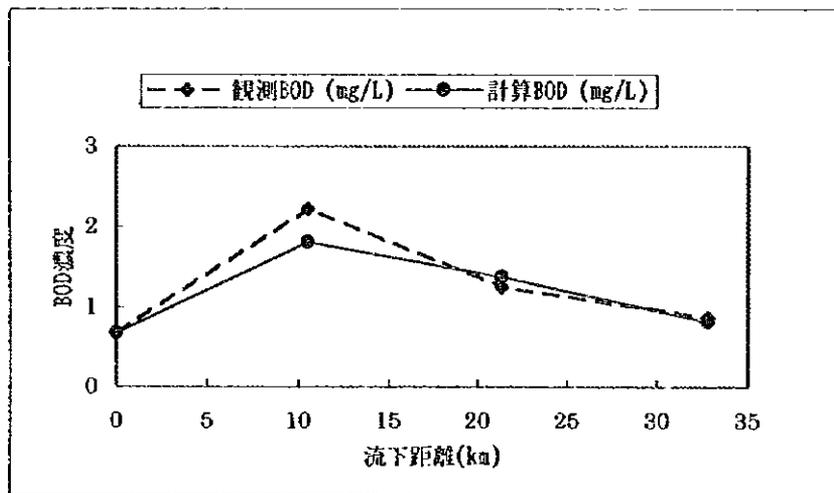


図 4.2.1 BODの1995年平均値による再現計算結果

表 4.2.2 渇水期 (1995/12/6) における再現計算結果

	単位	大河	鬮鷄山	龍門	磨盤山
流下距離	(km)	0	10.5	21.3	32.8
推定流量	(m ³ /s)	44	49	58	60
観測BOD	(mg/L)	1.1	3.4	1.9	1.0
計算BOD	(mg/L)	1.1	3.76	2.30	1.69
観測DO	(mg/L)	9.4	6.2	3.2	5.0
計算DO	(mg/L)	9.4	9.33	9.02	8.81

表 4.2.3 渇水期 (1995/12/13) における再現計算結果

	単位	大河	鬮鷄山	龍門	磨盤山
流下距離	(km)	0	10.5	21.3	32.8
推定流量	(m ³ /s)	40	45	53	55
観測BOD	(mg/L)	0.8	2.6	1.6	1.1
計算BOD	(mg/L)	0.8	3.80	2.27	1.72
観測DO	(mg/L)	8.8	5.0	2.2	5.4
計算DO	(mg/L)	8.8	8.80	8.53	8.35

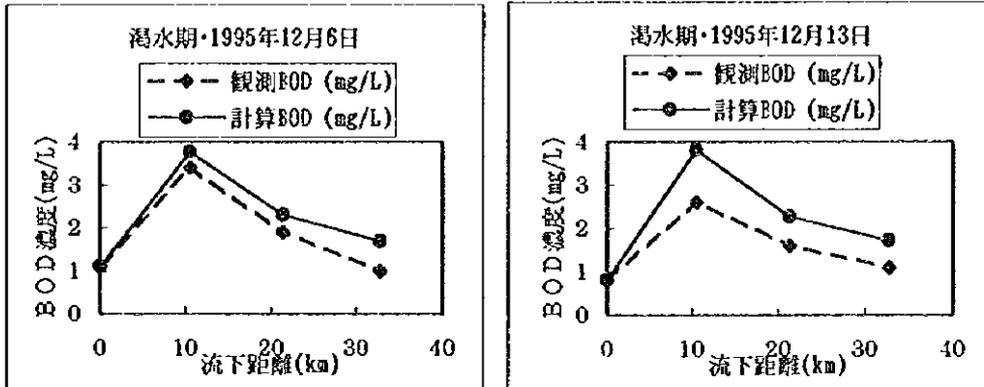


図 4.2.3 1995年渇水期における水質再現計算結果

4.3 将来予測計算

(1)汚濁負荷の将来フレーム

将来の社会経済フレームに基づいて設定した工場排水、及び生活排水の汚濁負荷の将来フレームを表 4.3.1 に示す。

表 4.3.1 汚濁負荷の将来フレーム

項 目	西暦年	1995年 実績値	2000年	2010年	2020年		
					Case1	Case2	Case3
工業生産額 (億円)		86.33	174.0	450.0	1200.5	947.7	473.7
工業生産額伸び率		1	2.02	5.21	13.91	10.98	5.49
工業用水原単位 (m ³ /万元)		117	100	80	60	60	60
工場排水発生汚濁負荷伸び率		1	1.72	3.56	7.13	5.63	2.81
全工場排水発生負荷量(kg/day)		11,363	19,575	40,499	81,032	63,969	31,974
桂林市街地人口 (人)		572,000	685,000	998,800	1,228,000	1,167,000	1,009,000
一日平均流動人口 (人)		54,740	73,973	103,562	110,959	110,959	110,959
一日平均国内観光客数 (人)		71,342	90,411	98,630	106,849	106,849	106,849
一日平均外国人観光客数 (人)		2,926	6,082	9,863	10,397	10,397	10,397
桂林市街地滞在総人口 (人)		701,008	855,466	1,210,855	1,456,205	1,395,205	1,237,205
生活排水負荷原単位(g/人/day)		25	30	40	55	50	45
全生活排水発生負荷量(kg/day)		17,525	25,664	48,434	80,091	69,760	55,674
全生活排水発生負荷伸び率		1	1.46	2.76	4.57	3.98	3.18
全発生汚濁負荷量(kg/day)		28,888	45,239	88,934	161,124	133,729	87,648
全発生負荷伸び率		1	1.57	3.08	5.58	4.63	3.03

備考①工場排水発生汚濁負荷伸び率は将来の水使用の合理化を考慮して次式により計算した。

②生活排水負荷原単位は公共施設、及び事業所等からの負荷を含めて設定した。

③ここで設定したフレームは桂林市都市部を対象としている。

④流動人口の滞在日数(学生、出稼ぎ等)は年間270日として一日平均値を算出した。

⑤観光客数の平均滞在日数を3日として一日平均値を算出した。

(2)何も対策を施さないでこのまま放置した場合

工場排水の下水道への放流率、及び生活排水の下水道普及率を現在のまま推移するものとして、将来水質を計算した。

この中には、将来の工場における水使用の合理化、及び生産システムの改善等による汚濁負荷の減少は考慮されている。

計算結果を図 4.3.1、表 4.3.2 に示す。

このまま対策を施さないで放置した場合には、關鷄山～龍門において 2010 年以降の BOD 濃度は平水時においても環境基準の 3 (mg/l) を超えることがわかる。

表 4.3.2 将来予測計算結果 (このまま対策をしない場合)

	単位	大河	関鷗山	龍門	磨盤山
流下距離	(km)	0	10.5	21.3	32.8
1995年	(mg/L)	0.7	1.8	1.4	0.8
2000年	(mg/L)	0.7	2.6	2.0	1.3
2010年	(mg/L)	0.7	4.6	3.5	2.4
2020年Case1	(mg/L)	0.7	7.6	5.9	4.0
2020年Case2	(mg/L)	0.7	7.0	5.4	3.7
2020年Case3	(mg/L)	0.7	4.8	3.7	2.5

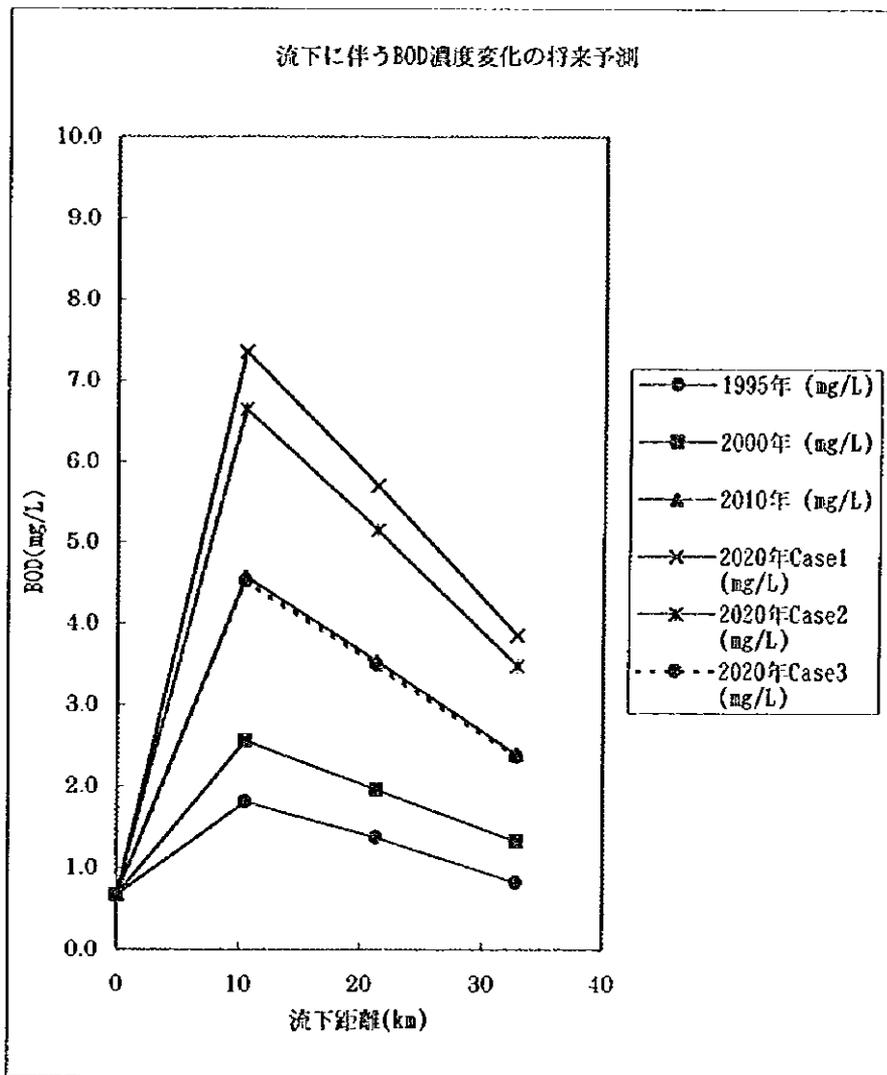


図 4.3.1 このまま対策をしなかった場合の将来予測BOD (平水期)

(3)下水道整備、及び工場排水処理を積極的に推進した場合

琴潭区、北沖区の下水道整備事業が推進されれば、2010年には生活排水の下水道普及率が84%になるものと推定される。また、工場排水処理についても発生源における排水処理技術の進歩などにより処理・除去率が65%程度になるものと想定される。

2020年においては、さらに改善され、工場排水・生活排水とも処理・除去率が90%程度に達するものと想定される。

表 4.3.3 に汚濁負荷総量削減対策の将来フレームについて整理したものを示す。

表 4.3.3 汚濁負荷削減対策の将来フレーム

項目	西暦年	1995年	2010年	2020年		
				Case1	Case2	Case3
工場排水処理・除去率(%)		48	65	90	90	90
污水处理場処理・除去率(%)		80	80	90	90	90
下水道普及率(%)		53	84	100	100	100

表 4.3.4、及び図 4.3.2 の計算結果から、工場排水処理、下水道整備の対策を積極的に推進した場合には、2010年、2020年のいずれのケースにおいても平水期においては、すべての観測基準地点で環境基準を満足することがわかる。

表 4.3.4 将来予測計算結果 (排水処理、下水道整備を推進した場合)

	単位	大河	関鶏山	龍門	磨盤山
流下距離	(km)	0	10.5	21.3	32.8
1995年	(mg/L)	0.7	1.8	1.4	0.8
2000年	(mg/L)	0.7	2.3	1.7	1.2
2010年	(mg/L)	0.7	2.8	2.1	1.4
2020年Case1	(mg/L)	0.7	2.0	1.5	1.0
2020年Case2	(mg/L)	0.7	1.8	1.3	0.9
2020年Case3	(mg/L)	0.7	1.3	1.0	0.7

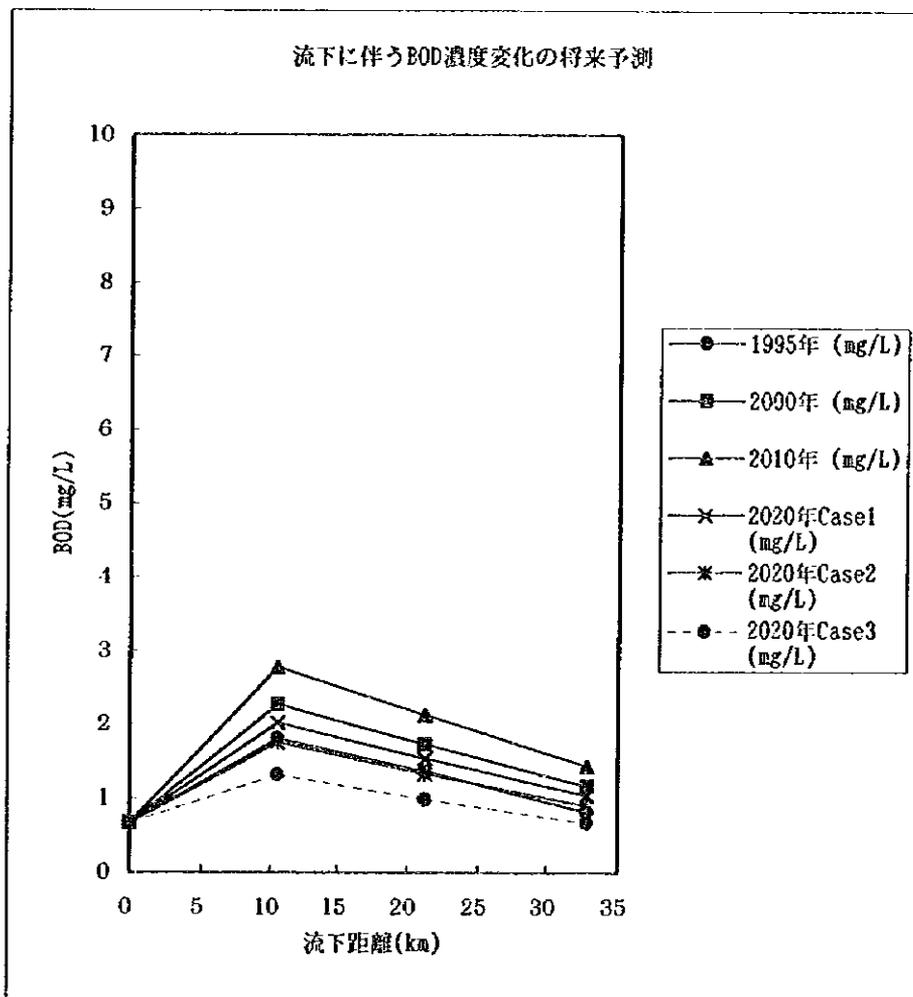


図 4.3.2 積極的に対策を推進した場合の将来予測BOD (平水期)

4.4 渇水期水質の将来予測

(1)このまま放置した場合

渇水期においては、特に水質が悪化することが懸念される。

渇水期においてこのまま放置した場合の将来水質の予測結果を表 4.4.1、及び図 4.4.1 に示す。

渇水期においては、このまま放置した場合、2010年の時点においても BOD 水質ピーク濃度が 10(mg/L)を超え、非常に悪化することがわかる。

この状態では、一部の区間で溶存酸素 (DO) がほとんどなくなる結果、水の色が黒色になり、悪臭を放ち、魚類が他の水域に逃げてしまう可能性も考えられる。

表 4.4.1 将来予測計算結果 (このまま対策をしない場合)

	単位	大河	開鷄山	龍門	磨盤山
流下距離	(km)	0	10.5	21.3	32.8
1995年	(mg/L)	0.8	3.8	2.3	1.7
2000年	(mg/L)	0.8	6.4	5.3	3.9
2010年	(mg/L)	0.8	12.0	10.0	7.3
2020年Case1	(mg/L)	0.8	19.7	16.5	12.1
2020年Case2	(mg/L)	0.8	17.8	14.9	10.9
2020年Case3	(mg/L)	0.8	11.9	9.9	7.3

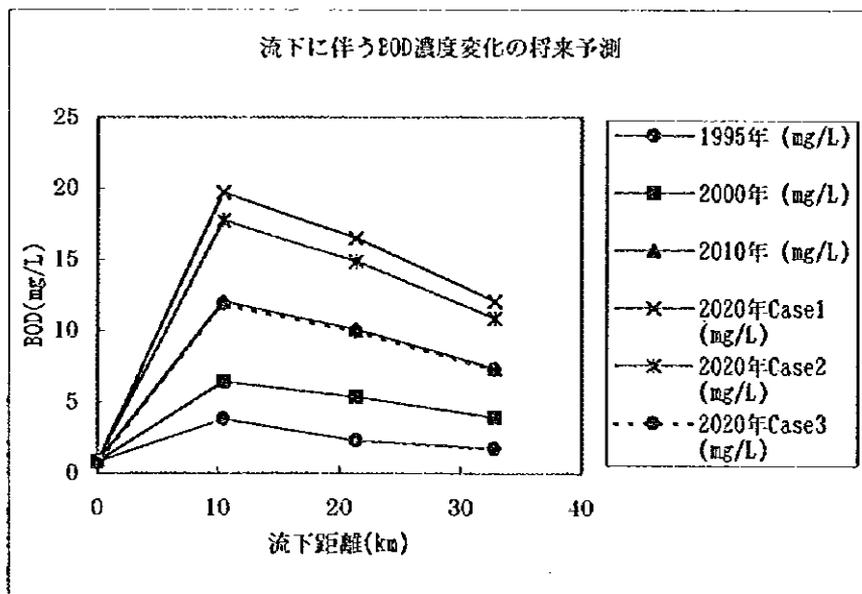


図 4.4.1 このまま対策をしなかった場合の将来予測 BOD (渇水期)

(2)工場排水処理、下水道整備を積極的に推進した場合

表 4.4.2、及び図 4.4.2 をみてわかるように、対策を施しても渇水期においては、2010年において BOD 予測濃度が 4.6~6.5、2020年において 2.1~4.3(mg/L)と現状と比較するとやや悪化するのは避けられないが、このまま放置した場合と比較すると格段に水質は改善されることがわかる。

渇水期において瀉江のすべての地点、水域で環境基準の BOD 濃度 3(mg/L)を遵守するのは、設定された汚濁負荷将来フレームの条件では特に 2010年の時点では非常に難しく、下水道整備、工場排水対策を早急に進め、全発生汚濁負荷量をさらに削減することが必要であるといえる。

表 4.4.2 将来予測計算結果 (排水処理、下水道整備を推進した場合)

	単位	大河	鬮鷄山	龍門	磨盤山
流下距離	(km)	0	10.5	21.3	32.8
1995年	(mg/L)	0.8	3.8	2.3	1.7
2000年	(mg/L)	0.8	5.6	4.6	3.4
2010年	(mg/L)	0.8	7.0	5.8	4.3
2020年Case1	(mg/L)	0.8	4.9	4.1	3.0
2020年Case2	(mg/L)	0.8	4.2	3.5	2.5
2020年Case3	(mg/L)	0.8	3.0	2.4	1.8

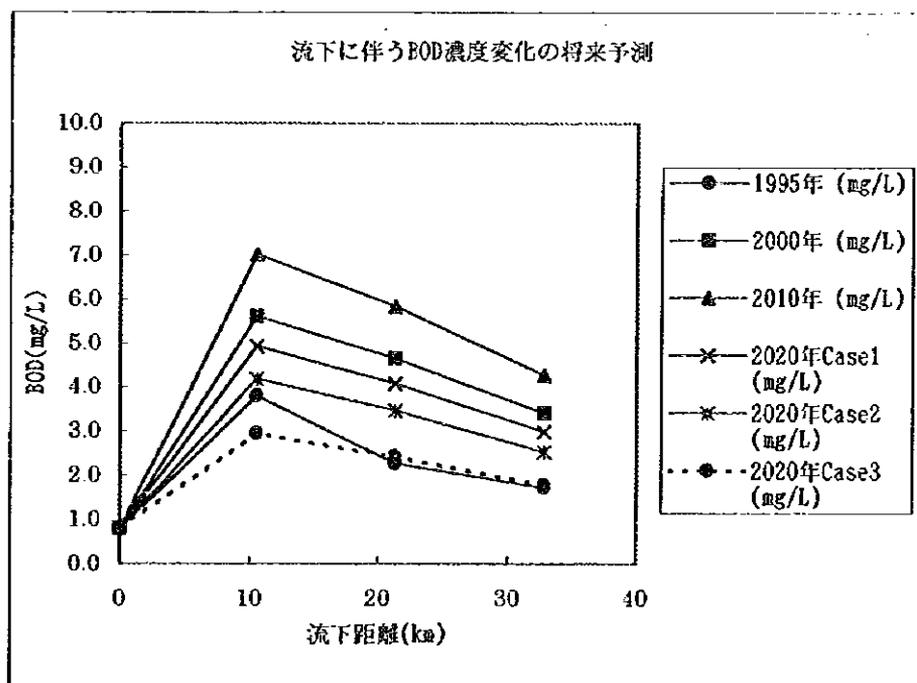


図 4.4.2 排水処理、下水道整備を推進した場合の将来予測BOD (渇水期)

5. 水質改善計画についての目標（水質改善計画目標の設定数値について）

漓江本川における水質改善計画目標の設定は、水污染防治法に基づいて漓江本川に現在適用されている地面水水質基準Ⅱ類のレベル、漓江支川・榕湖・杉湖については水質基準Ⅲ類のレベルとするのが妥当であると考えられる。即ち、

- 水質基準Ⅱ類適用水域 漓江本川；大河、開鷄山、龍門、磨盤山
- 水質基準Ⅲ類適用水域 桃花江、南溪河、小東江、寧遠河、榕湖・杉湖、良豊河

1988年施行の地面水水質基準を表6.2.3に示す。

ただし、水質基準の適用条件については、異常濁水等が生じることもあり、一時的な異常時の水質で判定するのは好ましくない。

したがって、低水流量（桂林観測所で約40m³/s）以上の流量条件とするのが妥当である。

このうち、漓江においては特にDO、BODに代表される有機性汚濁が最も重要であることから、これについて水質改善目標と漓江の水質現況とを比較・整理してみたものを表5.1.1-5.1.2に示す。

現況においては、桂林市都市部から下流の開鷄山から磨盤山の区間において、DOが年間を通じて水質基準を超過している状態であり、特にこれらの区間の水質改善が望まれる。

表 5.1.1 漓江本川の水質改善計画目標の設定数値

項 目	基準地点		大河	歸鷄山	龍門	磨盤山	摘 要
		單位					
DO目標値	(mg/L)		>6	>6	>6	>6	地面水水質基準Ⅱ類
DO平均値	(mg/L)		7.68	4.58	3.55	5.10	1995年観測値
最小～最大	(mg/L)		5.9～9.4	3.1～6.2	2.2～5.4	4.1～5.4	1995年観測値
BOD目標値	(mg/L)		<3	<3	<3	<3	地面水水質基準Ⅱ類
BOD平均値	(mg/L)		0.67	2.22	1.25	0.87	1995年観測値
最小～最大	(mg/L)		0.4～1.1	1.0～3.4	0.7～1.9	0.7～1.1	1995年観測値
COD(Mn)目標値	(mg/L)		<4	<4	<4	<4	地面水水質基準Ⅱ類
COD(Mn)平均値	(mg/L)		1.43	2.38	2.10	1.75	1995年観測値
最小～最大	(mg/L)		1.2～1.7	1.9～2.8	1.9～2.3	1.4～2.0	1995年観測値

※出典 1995年の観測値は桂林市環境保護局による。

地面水水質基準は (GB 3838-88) 1988年6月改訂施行による。

※備考 水質基準の適用条件として低水流量 (40m³/s) 以上の流量で適用する。

漓江支川については、具体的には下表のような目標値となるが、特に小東江、南溪河、榕湖・杉湖の汚濁が著しく、速やかな水質改善が望まれる。

表 5.1.2 漓江支川の水質改善計画目標の設定数値

項 目	基準地点	桃花江	小東江	南溪河	榕湖・杉湖	摘 要
	単位					
DO目標値	(mg/L)	>5	>5	>5	>5	地面水水質基準Ⅲ類
DO平均値	(mg/L)	4.05	0.80	0.80	4.1	1995年観測値
最小～最大	(mg/L)	2.2～6.0	0.2～1.4	0.2～2.7	2.1～6.2	1995年観測値
BOD目標値	(mg/L)	<4	<4	<4	<4	地面水水質基準Ⅲ類
BOD平均値	(mg/L)	2.18	25.2	17.9	10.6	1995年観測値
最小～最大	(mg/L)	1.0～3.4	3.3～66.1	7.3～30.2	9.8～11.5	1995年観測値
COD(Mn)目標値	(mg/L)	<6	<6	<6	<6	地面水水質基準Ⅲ類
COD(Mn)平均値	(mg/L)	3.50	14.3	12.8	8.6	1995年観測値
最小～最大	(mg/L)	3.0～4.8	5.3～29.8	5.0～30.0	7.6～9.9	1995年観測値

※出典 1995年の観測値は桂林市環境保護局による。

表 5.1.3 地面水水質基準 (GB 3838-88) 1988年6月改定施行

No.	項目	単位	I類	II類	III類	IV類	V類
	基本的要求条件		すべての水は、人為的(非自然的)原因によって以下の物質を誘導してはならない。 a 普通に沈殿ができ、悪い沈殿物を形成する。 b 浮遊物、破片、かす、油類、その他不快を誘う物質。 c 悪い色彩、臭い、濁り d 人体や動植物に対し、損害を与えたり、毒性または有害な生理的影響を与える物質。 e 有害な水生生物を発生させるもの。				
1	水温	(℃)	人為的に引き起こされる水温の変化の限界は次の通り。 夏季は、週平均最大温度上昇範囲は、1℃未満 冬季は、週平均最大温度上昇範囲は、2℃未満				
2	pH		6.5~8.5				
3	硫酸塩(SO ₄ ²⁻ 換算)*	(mg/L)	<250	250	250	250	250
4	塩化物(Cl ⁻ 換算)*	(mg/L)	<250	250	250	250	250
5	溶解性鉄*	(mg/L)	<0.3	0.3	0.5	0.5	1
6	全マンガン*	(mg/L)	<0.1	0.1	0.1	0.5	1
7	全銅	(mg/L)	<0.01	1	1 (漁場 0.01)	1 (漁場 0.01)	1
8	全亜鉛	(mg/L)	0.05	1	1 (漁場 0.1)	2 (漁場 0.1)	2
9	硝酸性窒素	(mg/L)	<10	10	20	20	25
10	亜硝酸性窒素	(mg/L)	0.06	0.1	0.15	1	1
11	非イオンアンモニア	(mg/L)	0.02	0.02	0.02	0.2	0.2
12	ケルダール窒素	(mg/L)	0.5	0.5	1	2	2
13	全リン	(mg/L)	0.02	0.1 (湖沼 0.025) (ダム 0.025)	0.1 (湖沼 0.05) (ダム 0.05)	0.2	0.2
14	過マンガン酸塩指数	(mg/L)	2	4	6	8	10
15	DO(溶存酸素)	(mg/L)	飽和率90%	6	5	3	2
16	COD(Cr)	(mg/L)	<15	<15	15	20	25
17	BOD ₅	(mg/L)	<3	3	4	6	10
18	フッ化物(F ⁻ 換算)	(mg/L)	<1.0	1	1	1.5	1.5
19	セレン(4価)	(mg/L)	<0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
20	全ヒ素	(mg/L)	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1
21	全水銀**	(mg/L)	0.00005	0.00005	0.0001	0.001	0.001
22	全カドミウム***	(mg/L)	0.001	0.005	0.005	0.005	0.01
23	6価クロム	(mg/L)	0.01	0.05	0.05	0.05	0.1
24	全鉛**	(mg/L)	0.01	0.05	0.05	0.05	0.1
25	全シアン化合物	(mg/L)	0.005	0.05 (漁場 0.005)	0.2 (漁場 0.005)	0.2	0.2
26	フェノール**	(mg/L)	0.002	0.002	0.005	0.01	0.1
27	石油類(石油エーテル抽出物)	(mg/L)	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1
28	陰イオン界面活性剤	(mg/L)	<0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
29	大腸菌群数***	(個/L)			10,000		
30	ベンゾ(a)ピレン***	(ug/L)	0.0025	0.0025	0.0025		

(注) * 地方の水域のバックグラウンド値の特徴に基づいて調整される。

** 公定分析(検定)方法の検出限界では基準の要求に適合していない。

*** 試行基準

6.水質汚濁対策

6.1 水質汚濁対策の分類

漓江において適用可能と考えられる水質保全対策を列記すると以下のように分類できる。

・生活排水対策

- ①桂林市内における下水道の面整備（琴潭区、北沖区を重点に）
- ②既設の下水処理施設の機能改善、高度化（上窯下水処理場など）
- ③桂林地区の人口密集地域における小規模下水道（合併浄化槽等）の整備
- ④漓江沿岸農村部におけるし尿処理施設の整備
- ⑤水使用の合理化、節水キャンペーンの推進

・工場排水対策

- ①排水基準の上乗せによる工場排水規制の強化
- ②汚染排水、排出工場の立地規制（移転、あるいは新設禁止など）
- ③工場排水処理設備の機能改善、高度化
- ④工場排水処理モデル事業の創設と投資
- ⑤環境対策優良企業への税制優遇、財政支援
（排污費を使用するケース有り）
- ⑥工場内における生産システムの改善、及び水使用の合理化

・その他の水環境改善対策

- ①流路変更・浄化用水導入（浄化のみを目的とするのは実施困難）
- ②桂林市内汚濁支川の浄化（南溪河、小東江）
- ③河岸整備、及び砂利採取の規制
河岸整備、及び砂利採取の規制
- ④養殖池の立地規制、及び適正管理

6.2 下水道整備事業

この事業は、桂林市都市部の琴潭区、北区、西城区における下水管渠の整備とポンプ場、汚水処理場の建設をおこない、下水道の除去率 80%を達成するものである。

これらの事業計画は中南設計研究院、世界銀行などで検討されている。

現況の桂林市都市部における下水道整備状況は、下水処理場の処理能力が先行し、

下水管の面整備・幹線污水管の処理場への接続が遅れている状態である。

この事業の実施により 2010 年において（琴潭区；18 万人）＋（北沖区；10 万人）の計 28 万人分が、2020 年においては（琴潭区；18.6 万人）＋（北沖区；16 万人）の計 34.6 万人分及び他の下水道未整備地域が、整備されるものと想定されている。

また、下水道整備地域においても下水幹線へのつなぎこみがさらに進んでいくことになる。

したがって、桂林市都市部における生活排水の下水道普及率は表 7.3.1 に示すように、現況の 53%から、2010 年には 84%、2020 年には 100%に増加することが見込まれる。

表 6.2.1 将来における下水道普及率の推移予測

項目	都市部総人口 (人)	下水道普及人口 (人)	下水道普及率 (%)
西暦年			
1995年	572,000	303,000	53
2010年	998,800	839,000	84
2020年	1,167,000	1,167,000	100

6.3 工場排水の処理

この事業は、桂林市の主要産業であるビール工場、味の素工場、製菜工場の排水処理設備を改善し、排出負荷量の削減をおこなうものである。この際、排汚費の還元を含む補助金やモデル事業により排水処理を促進することが考えられる。

桂林製菜工場、桂林漓泉ビール工場、桂林第二紡績工場、桂林製紙工場、桂林味精工場等について調査し汚染負荷削減対策案を検討した。

(1) 桂林製菜工場

① 現況

a. 硫酸、塩酸、硝酸、3 塩化燐酸、トルエン、シクロベンゼン誘導物等を原料として内科用医薬品及び家畜用医薬品を製造している。工場敷地から河川への放流口は南側と北側にそれぞれ 1 箇所ずつある。

b. 北側の排水口からは下水道に放流されており、下水道放流規制値内の排水である（COD cr500 mg/l 以下、150～200 mg/l の時もある）従って、無処理で放流されている。

c. 南側の排水口からは各工場棟の出口にてアルカリ注入により pH 4～5 に調整

され、排水処理場にて沈殿処理された排水が河川へ放流されている。放流水の pH は 4~5、COD_{cr} は 2,000~3,000 mg/l であり、水面には溶剤が浮いている。

d. 南側排水口からの排水の水質は河川放流規制値を大幅に超えているため超規
排污費（ペナルティー）24 万円/年、環境保護局へ支払っている。（大気、騒
音を含めると 50 万円/年である。）

石炭炊きボイラーの燃焼ガス洗浄排水は、専用沈殿池にて処理した後、南側排
水口の沈殿池を経て河川放流されている。

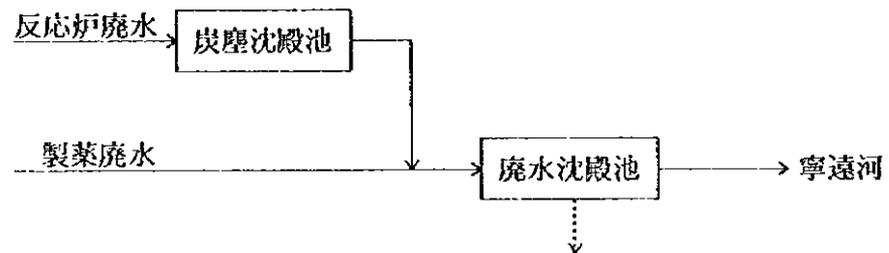
e. 燃焼ガス洗浄排水より沈殿分離した汚泥は、レンガの原料として利用されてい
る。

f. 各放流口からの放流量と放流水質

・北側排水口: 780,000 m³/年、COD_{cr} 500 mg/l 以下、 pH 6~8

・南側排水口: 920,000 m³/年、COD_{cr} 2,000~3,000 mg/l, pH 4~5

（南側排水口の水量には石炭炊きボイラーの燃焼ガス洗浄水量
30 m³/Hr = 250,000 m³/年が含まれる。）



②対策

a. 工場の製品からしても排水は酸性排水である。

従って、過剰石灰法により pH を 11 迄あげ浮遊物を水酸化物として沈殿分離し透
明度を上げた後、酸を注入し中和する、処理設備に改造する。

COD が規制値まで処理できない場合は、活性炭吸着装置を含んだ処理設備が必
要となる。

b. 廃棄物処理設備用地として、1985 年に 75 万円で購入し未使用である。

8,667 m² (13 畝) の敷地に、早急に排水処理設備を建設する。

③その他

a. 1996 年の売り上げ総額は 1.4 億元、利益は 60 萬元、

排水処理設備の改造費は約 1,000~1,600 萬元と推測すると、年間利益 60 億元
の企業では排水処理設備建設費の負担は大きく、市または国等の援助が必要と思われ

る。

b.工場敷地 20,000 m² (廃棄物処理設備用地、8,667 m²は含まない)には、製造棟 6棟、事務所、研究所があり製造棟の増設は不可能と思われる。

(2)桂林滴泉ビール工場

①現況

a.ビール製造能力は 12 万 kl/年である。(1996 年の実績は 11.8 万 kl)

b.用水使用量は 116,700 m³/月、ビールとして 10,000 m³/月 使用され、排水として 106,700 m³/月が下水道へ放流されている。但し、実際の計測排水量は 96,000 m³/月である。この他、工場内循環水量としては 54,800 m³/月 あり。

循環水量には、石炭炊きボイラーの燃焼ガス洗浄水 1,000 m³/日 (30,000 m³/月が含まれる)

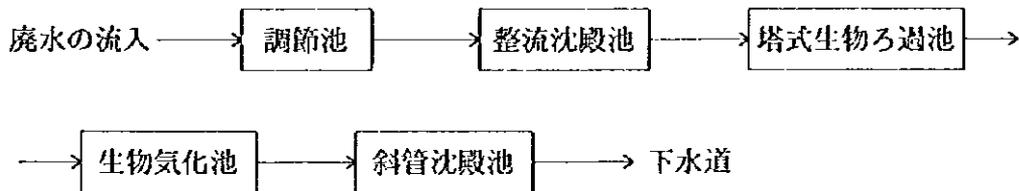
c.排水処理設備の構成は、水質均一槽、最初沈殿槽 (2 槽)、酸化塔 (4 塔)、接触酸化槽 (2 槽)、最終沈殿池である。

設計処理能力は 2,500 m³/日である。但し、実際に稼働している設備は酸化塔だけである。

d.沈殿槽の汚泥は天日乾燥し肥料として利用されている。

e.石炭炊きボイラーの燃焼排ガス洗浄水は専用の沈殿槽にて処理される。

沈殿汚泥はレンガの原料として利用されている。



②対策

a.排水処理設備規模は設計値 2,500 m³/日にしては各機器は、小型すぎる。

(1,000 m³/日程度ではないかと思われる)

又、接触酸化槽が機能していないため無処理状態に近い。既存設備の傷みも激しいので新規に排水処理設備を建設した方が経済的と思われる。

b.現在は下水道放流であるが、1998 年には河川放流に代わる計画である。この時に、高性能で建設用地が少なくすむメタン醗酵処理設備の導入が最適である。

メタン醱酵処理設備の機器構成は、水質均一化槽（調整槽）、最初沈殿槽、pH調整槽、メタン醱酵槽、曝気槽、最終沈殿槽、砂濾過槽である。

但し、既存排水処理場の用地面積では、 $96,000\text{m}^3/\text{月}$ （ $3,200\text{m}^3/\text{日}$ ）の排水処理設備（河川放流可能な処理水を得る）を建設するには狭すぎる。（建設用地の準備が必要）

③その他

a.現在のビール製造能力 $12\text{万kl}/\text{年}$ を、 $15\text{万kl}/\text{年}$ の製造設備への増設を考えている。（現在の工場用地面積では 15万kl が限度である。）

b.1997年の排水処理設備改造工事計画では、現在の処理水 $\text{CODcr}700\sim 900\text{mg}/\text{l}$ を $500\text{mg}/\text{l}$ 以下にする。予算は、200万円である。

c.製造能力 $15\text{万kl}/\text{年}$ の設備からの排水を、河川放流可能な処理水まで処理する排水処理設備の必要建設費は、3,300万円と予想している。

d.予算 2,500万円 でボイラーの燃料を、石炭から重油へ切り替える工事を行う予定である。

(3)桂林第2紡績工場

①現況

a.化学合成繊維を製造している。原料は輸入 $\text{HN}-(\text{CH}_2)_5-\text{C}=\text{O}$ $2,000\text{t}/\text{年}$ である。

b.用水使用量は、 $380,000\text{m}^3/\text{年}$ である。排水量は $270,000\text{m}^3/\text{年}$ （ $740\text{m}^3/\text{日}$ ）である。

c.製造工程排水は酸化池を経由して河川放流している。酸化池の沈殿汚泥は年に1回取り出しいる。

d.石炭炊きボイラーの燃焼排ガス洗浄水は、傾斜板沈殿槽にて処理した後、製造工程排水処理設備の酸化池へ送り、製造工程排水と一緒に処理している。傾斜板沈殿槽での沈殿汚泥はレンガの原料となる。

②対策

a.排水設備の酸化池は単なる貯留池であり浮遊物の沈殿処理ができるだけであり、排水中の COD/BOD の処理はできない。

b.従って、 COD/BOD 等を処理するため生物処理設備の建設が必要である。この

場合の排水処理設備機器構成は、最初沈殿池、pH 調整槽、凝集沈殿槽、生物処理槽、最終沈殿池、砂濾過槽となる。

③その他

a. 現在の原料処理能力は 2,000m³/年であるが、処理能力を 2 倍に増設中である。機器の一部は既に入荷済みである。工場敷地上これ以上の増設は難しい。

b. 排水処理設備の改造計画書を作成中である。早急に桂林市科学技術委員会へ提出する予定である。必要予算は 500 万元と考えられている。

(4) 桂林市製紙工場

①現況

a. 輸入パルプ（ロシア、カナダ、アメリカより輸入）より製紙している。

古紙は使っていない。

b. 1.6 万 t/年のパルプより 1.5 万 t/年の紙を製造している。

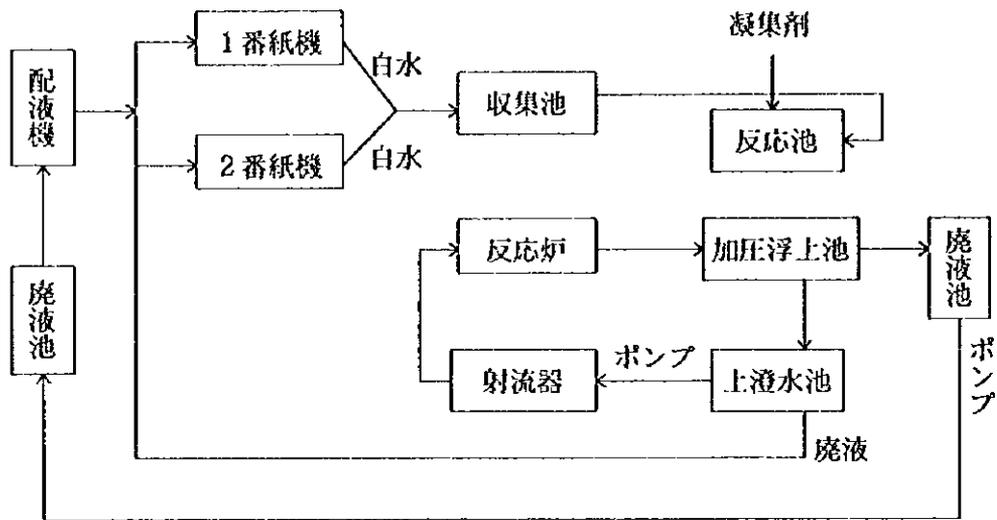
c. 用水原単位は、紙 1t 製造するために 200t の水が必要である。1996 年における実際の水収支は、用水購入量 約 328 万 t/年であり、排水量は 300 万 t/年(8,340 t/日)であった。

d. 製造工程からの排水（白水）を白水塔（沈殿分離槽）にて排水中の繊維分を沈殿分離し、白水塔からの排水は加圧浮上分離槽にて処理した後、河川放流している。但し、白水以外の排水は無処理のまま河川放流している。

e. 白水塔での沈殿繊維分と加圧浮上分離槽での浮上分離物（スカム）は製造工場原料として再使用している。

f. 加圧浮上分離槽の下部より、1～2 日に 1 回、約 10 分間程度、河川へ排水を放流している。

g. 無処理排水としては、印刷用塗料排水と石炭炊きボイラーの燃焼排ガス洗浄排水がある。これら無処理排水は、加圧浮上分離処理した白水と混ぜ河川放流しているため、河川放流水は規制値を超えている。



②対策

- a. 塗料排水、ボイラー燃焼排ガス洗浄排水を無処理で河川放流すれば、河川放流規制値を守ることは不可能であり、処理設備が必要である。
- b. ボイラーの燃焼排ガス洗浄排水処理設備としては、専用の沈殿池を設ける。
- c. 白水処理設備の加圧浮上分離槽の排水と、塗料排水を合わせて処理するための生物処理設備を増設する。

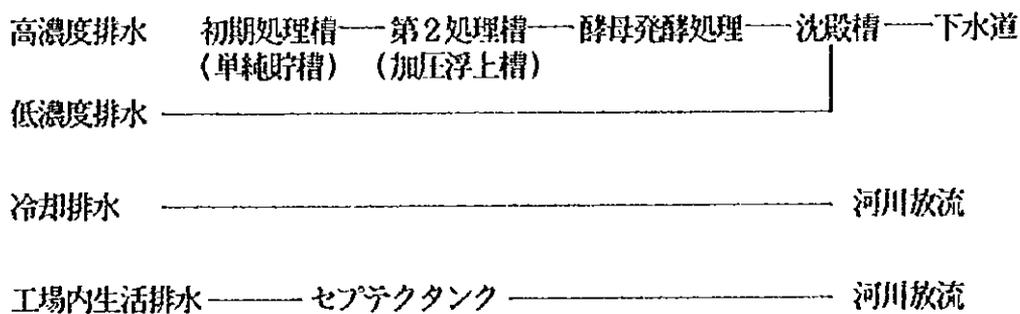
(5)桂林味精工場

① 現況

- a. 製造味精の原料は木薯デンプンである。
- b. 原料 20,000 ト/年より味精 10,000ト/年製造している。
- c. 排水総量は 11,000 m³/日である。内訳は下記の通りである。

高濃度排水	:	300 m ³ /日
低濃度排水	:	2,700 m ³ /日
冷却排水	:	
工場内生活排水	:	8,000 m ³ /日 (7,000~9,000 m ³ /日)

- d. 現処理方法は下記の通りである。



e. 高濃度排水の処理水水質

排水量	: 300 m ³ /日
COD _{Cr}	: 20,000 mg/L
BOD	: 10,000 mg/L
SS	: 4,000~5,000 mg/L
NH ₃	: 6,000 mg/L
pH	: 4.5~5.0
温度	: 29~30°C

処理水の COD_{Cr} は 20,000 mg/L であり、除去率は 50~60% である。従って原排水の COD_{Cr} は 40,000~50,000 mg/L となる。

② 対策

- a. 将来河川放流となるため、COD_{Cr} 100 mg/L まで処理する対策が必要である。
- b. 現在工場側の計画では、1997 年 12 月末までに高濃度排水を 20,000 mg/L から 450 mg/L まで処理可能な設備に増強する予定である。(投資金額 800 万円)。
- c. 1998 年 6 月までに 450 mg/L から 100 mg/L まで処理可能な設備を増強する予定である。(投資金額 200 万円)
- d. 低濃度排水処理、冷却排水処理(水温を下げる)工場内生活排水の処理も同時に検討する必要がある。
- e. この排水処理は COD が高く難しいと思われるため、処理設備を設計するにあたり、処理実験は不可欠と考える。

③ その他

- a. 現在下水道放流規制値を大幅に越えた排水を放出しているため、超規排污費は

30,000 (元/月) 支払っている。

(年間超規排汚費は 36 万元/年、売り上げは 14,000 万元/年)

b.工場は、日立造船より処理設備増強検討書を入手したが、日立造船プロセスでは、処理不可能であると判断している。(工場では処理実験を行っており、この実験結果に基づき、判断した。)

工場敷地は、味精製造量 20,000 トン/年まで増産可能な用地面積である。

6.4 漓江沿岸農村糞便処理場建設

この事業は、桂林市城区から下流域の漓江本川沿岸の主要農村に簡易的糞便処理場を建設し、舟運区域における負荷量の削減をおこなう。

人口の増加に伴い農作物の増産の必然性は当然のことである、限られた農地面積から増産するためには品種改良も必要であるが肥料の使用量が増加する、有機肥料の他、化学肥料の使用量も増える事になる。これにより、漓江へ流入する汚染負荷量は増加する。従って、農村部においても漓江に対する環境保全意識を高める必要がある。また実際に農村部から漓江の舟運区域に流入する汚染負荷を削減する必要がある。

(1)集落排水処理場の建設

比較的人口(人家)が集約している地区については、小規模下水処理場を建設する。

(2)個別家庭浄化槽の設置

人口(人家)が疎な地区では、汚水の収集管渠の建設費が膨大となるため、建設費が安くてすむ個別家庭浄化槽を設置する。

(中国において個別家庭浄化槽の設置が今後、本格的に進められる模様であり、各地において試験的設置を行い、試験運転によるデータの収集が進められ初めている。)

6.5 榕湖・杉湖浄化事業

この事業は、汚水発生区域の汚水処理改善と配管網の整備・汚水排出口の削減、底泥の浚渫、漓江及び桃花江河川水の導水により、水質基準第Ⅲ類を達成するものである。事業費 : 3,600 万元

6.6 工場排水に対する規制の強化

工場排水が現在の基準を満足しているにもかかわらず、漓江の環境容量を超える場合には工場排水の水質に対してさらに厳しい基準を設定し、規制を強化することが考えられる。将来予測では、工場からの汚濁負荷量が大幅に増加するために、このような対策が必要になる場合が考えられる。

漓江の水質を将来にわたって環境基準以内に維持していくためには、現行の国家環境保護局が定めた排水基準（污水総合排出基準；1988年4月5日公布、1989年1月1日施行）では不十分であり、桂林市人民政府・環境保護局による上乘せ基準（さらに厳しい基準）が必要であると考えられる。

特に排水水質に問題のある工場について、現行基準と上乘せ基準（案）を設定したものを表 6.6.1 に示す。

表 6.6.1 排水BOD濃度(mg/L)の現行基準と上乘せ基準（案）

工場名	業種	現行基準			現況水質	目標水質 (上乘せ基準)	摘要
		現有	新拡改	下水道放流			
桂林漓泉股工場	発酵・醸造	80	60	600	510	30	下水道放流
桂林製薬工場	製薬工業	125	75	***	540	30	BOD-COD/2
桂林味精工場	食品加工	300	200	600	2000	60	下水道放流
桂林製紙工場	製紙業	180	150	***	120	30	
桂林第二紡績工場	紡績業	80	60	***	120	30	
桂林腐乳工場	食品加工	80	60	600	530	60	下水道放流

※注1 これらの業種については現行制度では下水道に放流する場合は、600(mg/L)に規制が緩和される。

※注2 製薬工業については現行基準はCOD(Cr)なのでBODはCOD(Cr)の0.5倍とした。

※注3 「新拡改」とは新築、増改築する企業を対象とし、「現有」とは現存する企業を対象とする。

※注4 現況水質は、環境保護局の「主要工場水質概要資料」、または1996年夏期の実測調査による。

6.7 下水道料金、課徴金の適切な設定

工場排水の水質を改善するために、適切な下水道料金、課徴金を設定することも一つの対策と考えられる。一例として徴収した排污費をプールして工場排水処理設備の改善費用のための補助金として還元するのも対策案の一つとして成立しうる。

6.8 桂林市内の汚濁支川の浄化事業

(1)南溪河の浄化プロジェクト（※この項、「南溪河総合整治方案」による）

①汚濁の原因

南溪河の汚濁の原因は、次の4つに集約される。

・工場排水による汚染

最大の原因は工場排水による汚染である。10以上の工場が南溪河に年間231.49万トンの排水を排出している。ビール、カメラ、メッキ、衛生紙工場等があり、このうち特に桂林ビール工場が最大の汚濁負荷源であり、1993年のデータではCOD(Cr)排出量は、151.5トン/年である。

・生活排水とゴミ

南溪河の水面には野菜屑、泡、ビニール袋などが浮いていて南溪公園の景観を損なっている。ゴミの大部分は兩岸住民とレストランからのものである。生活排水の由来は南溪山病院、鉄西住民区、及びレストランなどが汚染源である。この他、堆積汚泥、水たまりなどが悪臭の発生源になっている。

・河岸の崩壊と河道の閉塞

南溪河は曲がりの多い河川であり、かつ川幅の変化が大きく、さらに護岸は未整備である。このため、洪水時に水流が河岸を削るので、削られた土砂、流木により河道は一部の区間で閉塞する。

・水工建築物設計の不合理的

南溪河の下流に高さ2mの堰がある。この堰は南溪河の洪水期の水位を上げるために設置されたが、近年水質が悪化してきたために汚泥の堆積が目立ってきた。堰にはゲートがないことから下部に沈殿している汚水・汚泥を排出できない。

②整備対策の内容

・工場排水、生活排水対策

基本方針として南溪河への工場排水、生活排水の流入を止め、排污水は汚水処理場へ送る。具体的にはビール工場は排出基準値まで処理した後、下水道へ放流する。工場はこの具体的な計画を持っている。その他の工場については工場内の廃水処理で排

出基準値以下に下げる。南溪山病院、鉄西住民区の排水は速やかに下水道に接続する。

・河道整備

黒山苗圃出口から南溪河の堰までについて護岸整備と浚渫を行う。浚渫量は46,550m³、護岸整備は450m、投資額は169.2万元。

・堰の改造

開閉可能なゲートを設置し、堰上流の貯水区間の底層の汚水・汚泥を排出・交換できるようにする。現在の位置から瀉江との合流点に堰を移し、新しいゲートと船川ゲートを建設する。これにより、南溪公園の水上遊覧が可能になる。

投資額は144.7万元。

・瀉江合流点付近の護岸整備

既設の堰から瀉江合流点までの河岸は特に崩壊が激しいため、全長1,044m（左岸360m、右岸684m）にわたって護岸整備が必要である。また、近傍に美術館があるため、護岸整備にあたっては特に景観配慮が必要である。

投資額は187.4万元。

・南溪河黒山苗圃までの護岸整備

南溪公園上流の河道湾曲と閉塞を防止するため、兩岸全長3,100mにわたって、護岸整備を行う。投資額は334.1万元。

・鉄西排水溝の清掃・清澄化と暗渠化工事

鉄西排水溝の全長は1,300mであるが、多量のゴミ捨てにより、悪臭を発生する水たまりとなっている。排水溝へのゴミの投棄を防止するために一部を暗渠化する。

投資額は35.4万元。

・西環路の排水溝の暗渠化工事

西環路の排水溝付近には多量の建築ゴミが放置されている。汚染防止と景観を改善するため、この排水溝について暗渠型の三面貼りコンクリート工事を行う。

投資額は13.1万元。

・ビール工場排水溝出口整備工事

ビール工場排水溝の大部分は三面モルタル施工がなされている。ただし、下流 414m は仕上げ施工がなされていないため、排水は周辺へ漏水している。このため、この排水溝の整備工事が必要である。投資額は 35.8 万元。

(2)小東江の浄化プロジェクト（※この項、「小東江整備初期案」による）

①小東江の汚染状況

小東江には排水流入口が約 10 カ所あり、排水総量は 20,000 トン/日である。小東江にはⅢ類の水質基準が適用されているが、濁水期には大腸菌群、石油類、アンモニア、COD、DO などがⅤ類の水質基準を超えている。また、フェノール、色度はⅣ類の水質基準を超えている。水は黒く悪臭を発している。

②最近の小東江汚染対策整備状況

小東江の汚染を解決するため、近年総合整備プロジェクトを実施した。その概要は工場排水の工場内処理の改善と、汚水処理場へのつなぎ込みである。

・1995 年桂林市政府は 150 万元投資し、七里点汚水処理場の汚泥脱水設備の改善を行った。これにより、短期間で堆積汚泥を処理でき、酸化槽全槽を運転できるようになった。また、龍隱橋の汚水越流口から汚水が放流されなくなった。

・最近 2 年の間に東区の主要工場からの汚染を防止するため、工場排水処理設備の改善に 376 万元投資した。また、汚濁物質を工場内で排水基準以下まで処理した後、下水道を経て七里点処理場へ送るよう指導した。これにより、汚染の集中制御ができた。

・工業排水整備に 26 万元投資した。これにより、コンデンサー、醬油、無線機の各工場排水の下水道への接続工事、埋設管敷設工事、前処理工事を完成させた。

・香料工場、紡績工場の汚水処理施設の監督・管理業務を強化した。特に香料工場については排水基準を遵守するよう要求した。無線機第一工場の汚染源整備補助金として 6 万元を給付し、メッキ排水処理施設を整備させた。

- ・ 1995年に10万 m³/日の処理能力を有する第4 汚水処理場を建設した。
総投資額は、10,690 万元。
- ・ 環境保護局は味精工場の排水観測頻度と監督を強化した。排水の処理水質が基準値以下に達しないと排出させないこととした。

③味精工場の汚染整備計画

桂林味精食品工場は桂林市内で排水量 (8,371 トン/日) が多く、汚濁濃度も平均 COD(Cr)67,800、BOD31,300(mg/L)と極めて高い。対策整備は二段階で行う。

(a)暫定的整備措置

- ・ 生産プロセスの改善、設備の改善、味精排水の総合再利用率を高める。酵母蛋白質より飼料を生産する。COD 除去率を 60%から 70%に高める。さらに密閉嫌気発酵処理を行えば、COD 除去率は 80%を達成できる。処理水は下水道に接続して東区汚水処理場に送る。
- ・ 工場内の環境管理を強化し、清水と汚水の分離を進める。
- ・ 味精工場の敷地内に中間製品の麴酸設備の増設を禁止し、増産に必要な麴酸は原料として購入する。これによる発生汚水の削減効果は COD(Cr)で 20%である。
- ・ 七里点汚水処理場の汚泥脱水運転を強化する。現在の脱水ポンプの運転は一日 6 時間が限度である。26 万元投資し、専用脱水ポンプを設置すれば、24 時間の運転が可能となる。同時に人員を増やせば多年にわたり、貯留された汚泥は処理できる。

(b)根本的解決のための対策

- ・ 環境保護局は桂林味精工場に対し、整備案の提出を求め、排水基準値を遵守させる。もし、排水基準を守れなければ、生産停止、あるいは移転させる。
- ・ 新たに環境総合整備班を設け、汚水整備の技術研究とプロセス設計を行い、高濃度有機物排水の処理プロセスを構築し、廃水処理設備を改善する。
- ・ 味精工場廃水処理第 2 期工事を速やかに実施する。予算 3,600 万元。
- ・ 今後、麴酸設備は増設しない。中間原料は外部から購入する。

◎桂林味精工場の汚染問題に対して、環境保護局は厳しく改善要求する一方、企業の困難を解決するため、清華大学環境工学関係、自治区科学技術委員会、及び日本の環境コンサルタント会社に連絡して、解決に協力する。

④小東江の再整備案

- ・桂林味精工場の整備 3,600 万元
- ・漓江への排水の直接流入を防止するための下水道管渠網の整備 2,000 万元
- ・その他、企業・事業場単位排水整備 300 万元

④小東江整備案の投資額

- ・汚濁源の遮断 2,000 万元
- ・護岸 500 万元
- ・浚渫 400 万元
- ・緑化 350 万元
- ・主要汚染源整備 3,600 万元

合計 6,850 万元

6.9 河道堰を設置した場合の水質予測について

表 6.9.1 水質予測に係わる漓江河道堰の諸元

川幅 (m)	堰水深 (m)	平均水深 (m)	長さ (km)	貯水容量 (m ³)	平水流量 (m ³ /s)	滞留時間 (day)	水深/滞留時間 (m/year)	リン濃度 (g/m ³)	リン負荷 (gP/m ² /year)
300	4	2	8	4,800,000	100	0.56	1314	0.053	69.6
300	6	3	18	16,200,000	100	1.88	584	0.053	31.0

※備考 全リン濃度に関しては観測データが少ないため、桂林市下流部の龍門における 1996 年 8 月と 12 月の平均値を使用した。

湖沼などの停滞水域の富栄養化の水質予測式としては、Vollenweider の式がよく適用される。通常、窒素は充分にあり、リンが富栄養化の進行の制限因子となる。

Vollenweider は世界の多くの湖沼を統計的に解析して、湖内の全リン濃度に係わる水質予測に関する式を導き出した。以下に式の内容を示す。

$$[P] \lambda = L(\rho) / (Z / T(\omega) + \sigma)$$

ただし、[P] λ ; 湖内における全リンの年間平均濃度(mg/l) or (g/m³)

L(ρ) ; 単位湖面積あたりの流入全リン負荷量(g/m²/year)

Z ; 湖沼の平均水深(m)

T(ω) ; 滞留時間(year)

σ ; 見かけ上の沈降係数(1/year)

また、Vollenweider らは、この式に基づいて湖沼の (平均水深/滞留時間) と、リン濃度 (1 年、 $1m^2$ あたりのリン流入負荷量)、及び富栄養化進行度の間の関係を分類・整理し、これを図示した (図 6.9.1)。

瀧江で計画されている河道堰は、湖沼として取り扱うには滞留時間が 0.56~1.88 日とあまりにも短く、Vollenweider の式の適用範囲ぎりぎりのところで、図 6.9.1 をみるとわかるようにプロットが Vollenweider の関係図の範囲からはずれてしまうために、Vollenweider の関係式からは明確に富栄養化が進行するとは断言するのは慎重な態度ではないが、窒素・リンの濃度レベルからみてほぼ間違いがないものと考えられる。

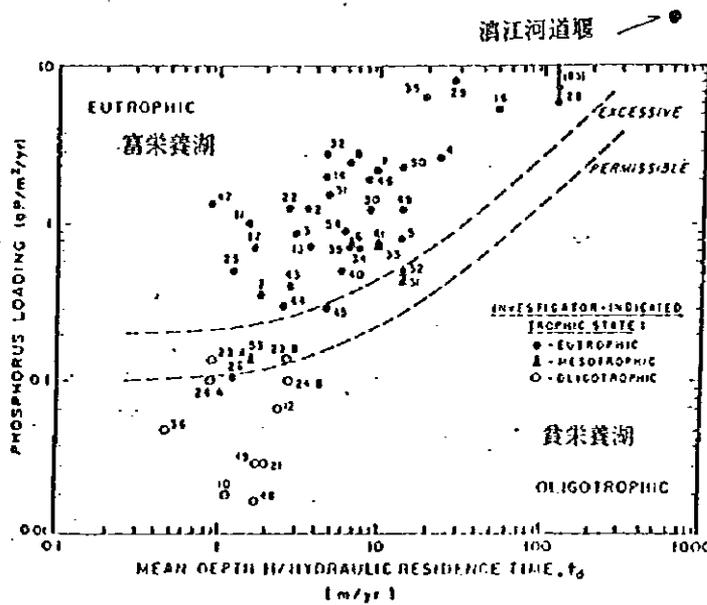


図 6.9.1 Vollenweider の関係図

流入水中の粒子性 BOD、COD、窒素、リンは多くが河道堰内に流入する過程で沈殿し、底泥として堆積する。しかしながら、堆積した底泥から一部が水中に溶出し、水中の濃度を増加させる。

現状のリン濃度でも特に夏季の水温が高いときに晴天が続いた場合、富栄養化現象が進行して、光合成に伴って藻類が急速に増殖する結果、河川の BOD、COD 濃度が上昇し一時的に水質が悪化する可能性が高い。

ただし、洪水後は水が入れ替わるため、水質が回復するものと考えられる。

一方、渇水期である水温の低い冬季にのみ、堰のかさ上げを行う場合には低水温の条件により藻類の増殖速度が遅くなり（水温により藻類増殖速度は指数的に減少する）、かつ停滞水域における滞留時間が 1～5 日程度（平均流量；40m³/s として）と短いために、河道堰の運用は冬季においては瀧江の水質にはほとんど悪影響を及ぼさないものと考えられる。

将来的には下水道が整備されても、リン濃度は BOD、COD に比べると下水処理による削減率が小さいので河川水中のリン濃度は増加するものと考えられ、水温の高い時期の河道堰による水質の悪化の進行は避けられないものとみられる。