

国際協力事業団

中華人民共和国
遼寧省水利庁

中華人民共和国

遼寧省大凌河白石ダム工事に関する実験計画調査

主報告書

III

1997年9月

JICA LIBRARY



J 1140314 {4}

日本工営株式会社

農調農

JR

97-48

国際協力事業団

中華人民共和国
遼寧省水利庁

中華人民共和国

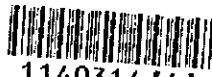
遼寧省大凌河白石ダム工事に関する実験計画調査

主報告書

III

1997年9月

日本工営株式会社



1140314【4】

目次

3.5	排砂、堆砂シミュレーション	476
3.5.1	大凌河流域の流砂について	476
3.5.1.1	水文	476
3.5.1.2	大凌河の浮遊砂	476
3.5.2	日単位の流量、浮遊砂量データの解析	480
3.5.2.1	解析内容	480
(1)	目的	480
(2)	時系列解析データ	480
3.5.2.2	季節変動および経年変化	481
(1)	季節変動	481
(2)	経年変化	481
3.5.2.3	長期的傾向の解析 (Trend Analysis)	481
(1)	解析方法	481
(2)	解析結果	488
3.5.2.3	日流量および日浮遊砂量の短期流出予測	488
(1)	従来の回帰式と時系列解析	488
(2)	ARIMA を用いた日流量、日浮遊砂量の予測	495
(3)	モデルの予測結果	496
3.5.3	リモートセンシングによる土砂生産域の推定	500
3.5.3.1	調査概要	500
(1)	調査目的	500
(2)	解析対象範囲と調査地概要	500
(3)	使用データ	500
(4)	調査手順	509
3.5.3.2	河道の土砂堆積域変化解析	512
(1)	河道の土砂堆積域の抽出	512
(2)	流域別河道の土砂堆積域状況	523
3.5.3.3	流域の土地被覆の経年変化解析	528
(1)	ランドサット TM/MSS を用いた土地被覆分類	528
(2)	流域別土地被覆の経年変化	544
3.5.3.4	1984 年の洪水時における土砂堆積域の変化	549
(1)	対象洪水の水文特性	549
(2)	洪水前後の土砂堆積域の変化	549

3.5.3.5	土地被覆と浮遊砂量との関係	556
(1)	土地被覆とその経年変化	556
(2)	土地被覆と浮遊砂量との関連	556
(3)	土地被覆と侵食深	557
3.5.4	ゲートオペレーションによる排砂効果の評価	562
3.5.4.2	目的	562
3.5.4.2	底孔のゲートオペレーションによる排砂(貯水位を維持した場合)	562
(1)	準3次元拡散シミュレーションモデル	562
(2)	貯水池堆砂形状の予測	577
(3)	洪水時における貯水池内の流動および浮遊砂の挙動	577
(4)	排砂効果の高いゲートオペレーションの策定	626
(5)	常時における貯水池内の浮遊砂の挙動	636
(6)	30年後の堆砂の予測	642
3.5.4.3	洪水時の掃流力を利用した排砂の効果	658
(1)	泥流シミュレーションモデル	658
(2)	計算条件の設定	661
(3)	堤体部底孔のモデル化	666
(4)	計算シミュレーション結果	667
(5)	考察	702
3.5.5	まとめおよび中国側への提言	706
3.5.5.1	ゲートオペレーションによる排砂効果の評価	706
(1)	底孔ゲートオペレーションによる排砂(貯水位を維持した場合)	706
(2)	排砂効果の高いゲートオペレーションの策定	707
(3)	常時における貯水池内の浮遊砂の挙動	707
(4)	30年後の堆砂量の予測	708
(5)	洪水時の掃流力を利用した排砂の効果	708
(6)	排砂シミュレーションの問題点および今後の課題	709
3.5.5.2	貯水池への土砂流入、堆砂についての観測計画	710
(1)	浮遊砂の定点観測	710
(2)	浮遊砂の粒度分布調査	715
(3)	堆砂の採取、測定	715
(4)	貯水池内部の浮遊砂濃度、水温の垂直分布観測	715
(5)	気象観測所	716
(6)	堆砂形状の調査観測	716
(7)	排砂、堆砂シミュレーションと観測項目との関連	717
3.5.5.3	総合的堆砂対策についての提言	719

3.5 排砂、堆砂シミュレーション

3.5.1 大凌河流域の流砂について

3.5.1.1 水文

大凌河流域を図3.5.1.1に示す。また、主要河川とその流域面積は以下の通りである。

表3.5.1.1 大凌河と主要支川の流域面積

大凌河	忙牛河	第2忙牛河	老虎山河	西河
23,263km ²	4,679km ²	1,098km ²	1,420km ²	2,963km ²

図3.5.1.2に水文、浮遊砂量、降雨量観測所を示す。大凌河本川沿いの流量観測所は、建凌、朝陽、大凌河（ダム地点）、錦県に設置されており、支川には、忙牛河に迷力営子と西河に復興保測水所がある。各観測所での流況は以下の通りである。

表3.5.1.2 大凌河の各側水所における流況

河川	大凌河					忙牛河	西河
	建凌	上室保	朝陽	大凌河	錦県	迷力営子	復興保
流域面積(km ²)	656	5,717	10,135	17,649	23,060	4,317	2,887
年間流量(10 ⁴ m ³)	113	525	775	1,297	1,624	309	204

-年間流量については1958年から1985年の28年間平均値

ダム予定地点における流域面積は17,649km²で大凌全流域面積の76%を占める。本調査においては流域内の浮遊砂の流出に関する地域特性を把握するため、流量観測所、雨量観測所の位置、支川流域等を考慮し、白石ダム予定地点より上流の流域を約2,000km²程度の11流域に分割した。これらは、図3.5.1.1中の大凌河上流のAからGの8流域、忙牛河流域のAからCの3流域である。

3.5.1.2 大凌河の浮遊砂

中国側の資料によれば、大凌河流域は、清朝初期（17世紀後半）には森林植生も非常によく水資源涵養源として良好な地域であったが、その後1829年以降の大量の移民による大規模な開拓と森林伐採のため植生は荒廃し、1949年には森林植生の面積は全流域面積の5%以下にまで減少した。1988年時点で、流域内の70%は土砂の流出地域であり、そのうち牧場が40%、斜面の耕地が16%を占めている。流出土砂量の多い地域は流域北部の北票市と阜新県であり、これらの2市県で強度侵

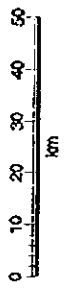
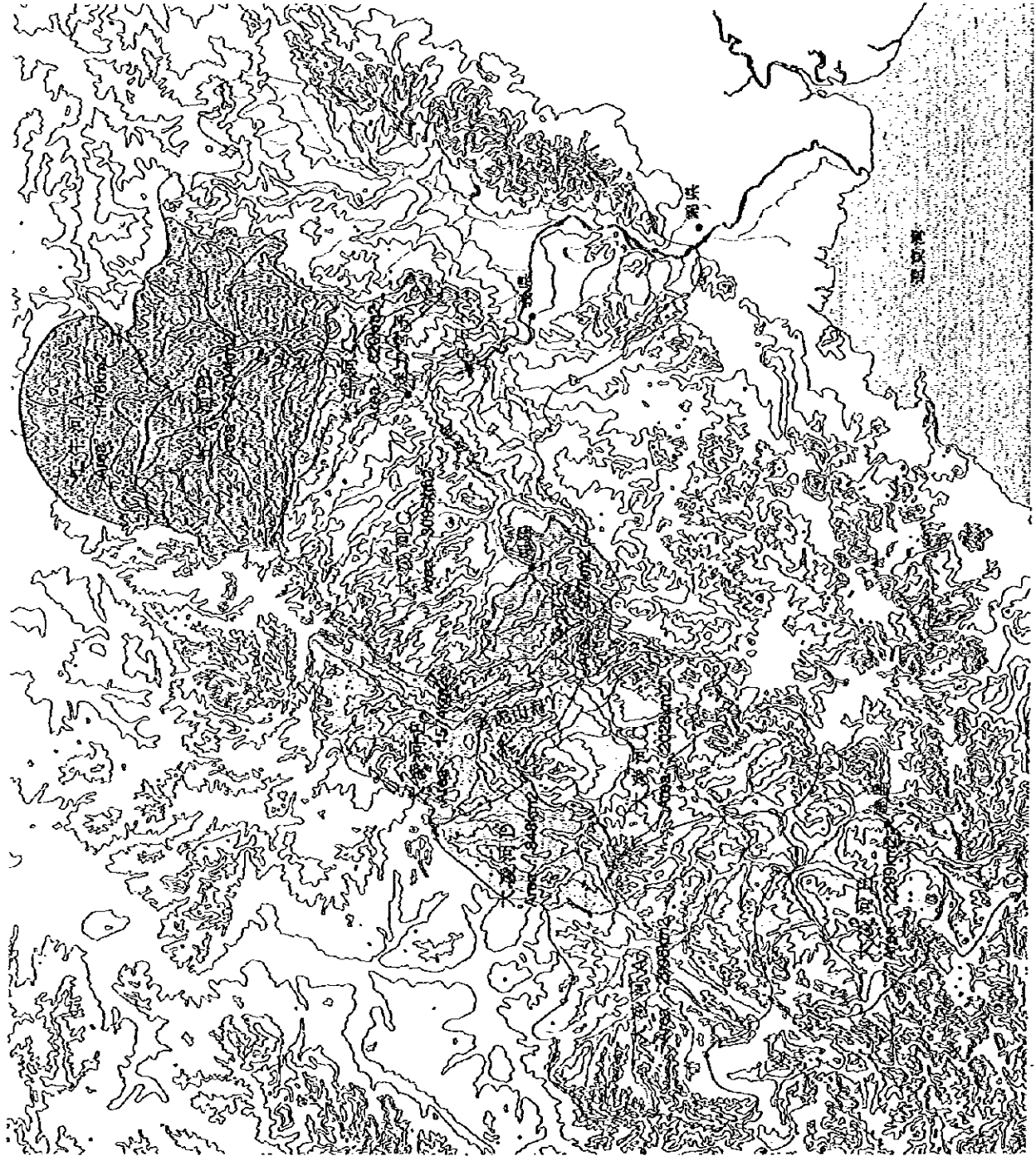


图 3.5.1.1 大河流域分区图



凡例

- 流砂・流量観測所
- 雨量観測所
- 流量・雨量観測所
- ▼ 白石ダム
- 〒 夕区区分及び観測点
- S:1922~1997 浮遊砂量
- Q:1921~1997 流量
- R:1921~1997 雨量
- 閉鎖対象流域

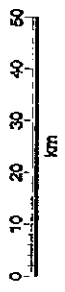
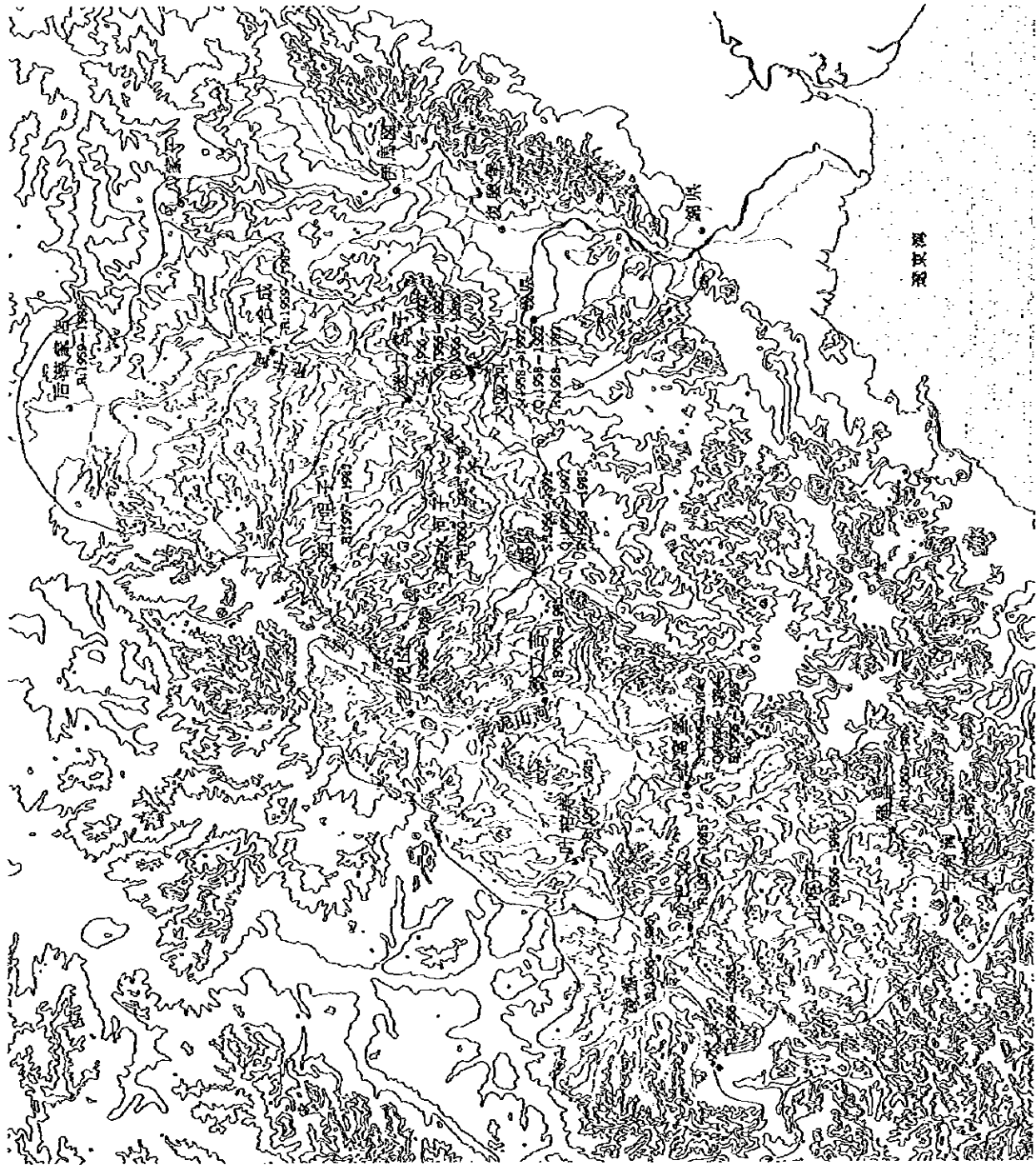


図 3.5.1.2 水文・気象観測位置

食地域の50%の面積を占めると報告されている。

大凌河の浮遊砂の特徴を簡単にまとめると、1)流出量が非常に多い 2) 豊水年に流出が多い 3) 洪水時に大量に流出がある 4)年間を通じてみると7月—9月にその流出が集中する 5)粒径が小さい、ということになる。

中国側の「白石ダム工事初步設計報告書」によれば、大凌河地点での1955年から1992年までの多年平均浮遊砂量は2,305万トである。白石ダム上流で合流する忙牛河の迷力営子では、多年平均浮遊砂量は1,160万トであり、大凌河地点での年間流砂量の54%を占める。実測時系列で最大浮遊砂量は50年に1回程度の洪水が発生した1962年の10,695万ト、平均値の5倍である。一方、最小浮遊砂量は1992年の210万トである。洪水時の浮遊砂量は年間浮遊砂量の約50%を占める。7、8月の2ヶ月間の浮遊砂量は1,740万トで、年間総量の81.2%を占める。大凌河の浮遊砂は中央粒径 $d_{50}=0.016\text{mm}\sim 0.022\text{mm}$ の比較的均一なシルトである。

3.5.2 日単位の流量、浮遊砂量データの解析

3.5.2.1 解析内容

(1) 目的

白石ダム貯水池の堆砂対策を立案するためには、過去の水文資料を整理解析し、浮遊砂の時間的、空間的流出傾向を知ることが必要である。また、将来の流量および浮遊砂流出を予測するモデルがあれば、さらに適切な堆砂対策が可能となろう。大凌河における水文観測は1950年代の後半から開始されており、中国側から1956年以降の日単位の流量、含砂量、雨量データの提供があった。従って、流出傾向、予測に関する方法は種々提案されているが、水文データの時系列解析が有効な方法と考えられた。解析に用いたデータは図3.5.1.2示すに雨量、流量および浮遊砂量である。また、以下に本解析の具体的な目的を示す。

- 1) 白石ダム地点の流量時系列および浮遊砂量時系列を、長期流出傾向成分、シフト成分、季節変動成分、不規則変動成分に分離する。白石ダム地点には、大凌河本川とその支川である忙牛河からの流入があるので、各々の成分分離をおこない、その特徴を知る。
- 2) 大凌河本川と忙牛河それぞれの日流量と日浮遊砂量との相関をもとめる。さらに、日流量および日浮遊砂量の短期流出予測式の作成を試みる。

(2) 時系列解析データ

時系列解析対象は、朝陽、大凌河、迷力営子における1956年～1992年の日流量および日浮遊砂量および11気象観測所の日雨量である。なお、大凌河での観測は1985年以降実施されていないため、1985年～1992年においては義県のデータを参考とした。解析にあたっては、まず、これら日降水量、日流量、日浮遊砂量からなる水文データベースを構築した。

欠測値は、全観測地点にあり、その数は、日流量で全体の観測数の2～4%、日浮遊砂量で2～14%であった。全ての欠測値は、5年中間値、あるいは連続する欠測日数を考慮して指数関数的にスムージングした値をもちいて補完した。

大凌河観測地点は、ダム建設地点の下流350mに位置し、その日流量、日浮遊砂量は忙牛河流域と大凌河流域からの流入量のほぼ合計と考えられる。また、迷力営子は、大凌河と忙牛河の合流地点に近く、忙牛河流域の流量および浮遊砂の流出特性をよく代表していると考えられる。

3.5.2.2 季節変動および経年変化

(1) 季節変動

図3.5.2.1、3.5.2.2、3.5.2.3、3.5.2.4に大凌河、朝陽、迷力営子、金嶺寺、各地点における流量(m^3/s)、浮遊砂濃度(kg/m^3)の1956年～1992年の月平均、中間値(median)および標準偏差を示す。流量については、その中間値は、年間を通じて7月あるいは8月の大きなピークと3月から4月に小さなピークが出現する。従って、流量については、3月から4月にかけての雪解けによる小洪水期と7月から9月にかけての降雨による洪水期が存在することを示している。また、いずれの地点でも6月から9月にかけて流出が卓越し、大凌河地点では、年間流出量の70%を占める。一方、浮遊砂量については、その流出は洪水期である6月～9月しこの期間の浮遊砂量は年間浮遊砂量の97%を占める。また、標準偏差については、5月から6月の標準偏差はその平均値より数倍大きい。

(2) 経年変化

図3.5.2.5に大凌河、朝陽、迷力営子各地点における日平均流量(m^3/s)、日平均浮遊砂濃度(kg/m^3)の1956年から1992年までの経年変化を示す。また、図3.5.2.6に年間流量および年間浮遊砂量の経年変化を示す。流量の年変動は大きいがこの30年間では減少傾向を示す。大凌河、迷力営子ともに年間浮遊砂量も1962年以降徐々に減少する傾向にある。浮遊砂濃度については、1960年代から1992年まで、ほぼ一定しており、流量の増加が直接浮遊砂量の増加となる。

図3.5.2.7、図3.5.2.8、図3.5.2.9に大凌河、迷力営子、朝陽、金嶺寺における月流量と月浮遊砂量の時系列とそのコレログラムを示す。コレログラムは連続する観測値の周期性や長期傾向を知るために有効である。流量、浮遊砂量ともに明らかに1年周期があることを示している。その周期は全観測期間中0.0を中心に振動しており、長期傾向は見い出せない。しかし、より厳密に長期傾向を知るためには、季節変動成分を取り出して解析する必要があり、この解析を次項3.5.2.3に示す。

3.5.2.3 長期的傾向の解析(Trend Analysis)

(1) 解析方法

一連の長期傾向の解析においては、月単位のデータとワークステーション用の統計ソフトパッケージ SPLUS を用いた。まず、日流量、日平均浮遊砂量、日浮遊砂量から、月流量、月平均浮遊砂量、月浮遊砂量を求め、さらに自然対数値変換した時系列データを作成した。

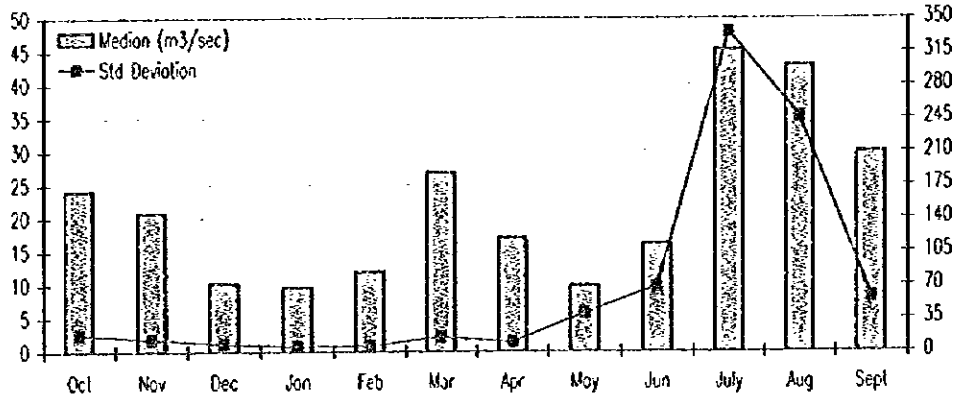
次に Cleaveland ら (1992 年) の 2 段階法により、各々の時系列データは、3 成分、すなわち、30 年間の長期傾向成分、季節変動成分、その他の成分 (あるいは雑音) に分離された。第 1 段階では、Back-fitting アルゴリズムを用いて、1 年周期の季節成分を分離する。その結果、季節成分を分離された残りの成分はスムーズそしてコンスタントに成る。これが、オリジナルの水文時系列データから

GRAND SUMMARY AT DAIRYO

Discharge Summary

Statistic	Dry Season								Wet Season				Total
	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sept	
No of Data	1,122	1,085	1,122	1,122	1,020	1,122	1,085	1,122	1,085	1,122	1,122	1,085	13,214
Range	187.98	86.56	59.961	27.659	33.558	119.13	80.79	722.18	1359.65	7749.02	4457.78	961.02	7749.02
Median (m ³ /sec)	24.1	20.8	10.3	9.7	12	26.9	17.1	9.94	16.2	45.3	42.93	30	
Std Deviation	18.07	13.07	8.10	5.73	6.18	15.60	10.10	40.31	68.58	335.91	246.91	57.46	
Skewness	2.70	0.63	1.41	0.33	0.29	1.27	1.23	13.25	9.18	15.81	9.16	6.48	

Percentage of Missing Values = 2%

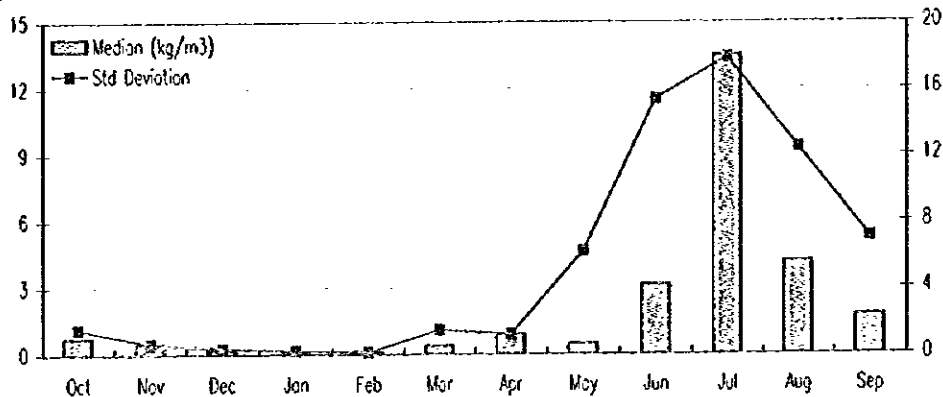


Q Dairyo

Suspended Load Summary

Statistic	Dry Season								Wet Season				Total
	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sept	
No of Data	1,085	1,050	1,085	1,085	989	1,085	1,050	1,085	1,050	1,085	1,085	1,050	12,784
Range	28.8	4.522	5.456	1.85	0.731	16.694	13.89	67.789	89.8	87.07	81.761	82.086	89.80
Median (kg/m ³)	0.75	0.44	0.174	0.14	0.12	0.4	0.9	0.48	3.145	13.5	4.19	1.755	
Std Deviation	1.52	0.61	0.35	0.21	0.12	1.46	1.19	6.20	15.37	17.88	12.43	7.06	
Skewness	7.24	2.16	6.58	4.75	1.61	3.99	2.93	6.13	2.15	1.25	2.05	4.64	

Percentage of Missing Values = 2%



S Dairyo

Flow & Yield Summary

Statistic	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sept	Total
Flow (Mill.m ³ /m)	79.17	63.83	35.21	28.19	30.33	83.41	52.32	47.15	93.85	314.41	336.93	125.14	1289.94
%	6%	5%	3%	2%	2%	6%	4%	4%	7%	24%	26%	10%	100%
Yield (Mill.kg/m)	127	49	10	5	5	119	87	153	2,530	11,342	7,115	857	22,593
%	1%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	1%	11%	51%	31%	4%	100%

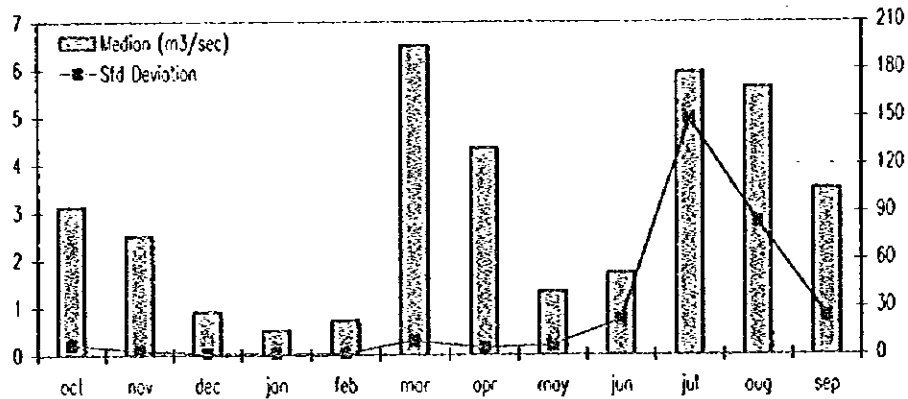
図 3.5.2.1 大凌河(ダム地点)の月平均流量、月平均浮遊砂濃度、月平均浮遊砂量

GRAND SUMMARY AT MEIRIKI

Discharge Summary

Statistic	Dry Season					Wet Season					Total		
	oct	nov	dec	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul		aug	sep
No of Data	1,147	1,110	1,147	1,085	988	1,085	1,050	1,034	1,080	1,116	1,147	1,111	13,150
Range	107.88	21.89	6.84	4.32	19.50	70.80	47.50	149.00	270.00	3240.00	1300.00	540.00	3240.00
Median (m ³ /sec)	3.12	2.51	0.92	0.52	0.73	6.51	4.36	1.33	1.73	5.94	5.63	3.50	
Std Deviation	6.75	2.78	1.21	0.83	1.13	8.91	4.33	6.22	22.31	149.73	83.87	24.68	
Skewness	9.28	1.78	1.22	1.53	5.77	2.51	2.65	15.65	6.10	13.03	8.85	12.55	

Percentage of Missing Values = 4%

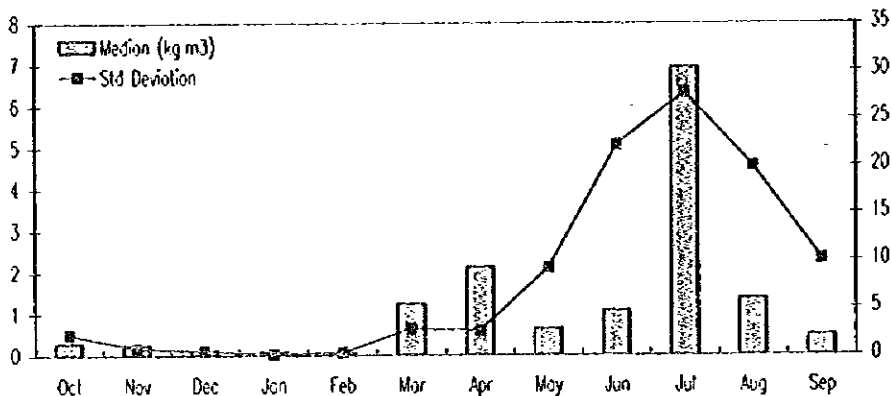


Q Meiriki

Suspended Load Summary

Statistic	Dry Season					Wet Season					Total		
	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul		Aug	Sep
No of Data	993	801	807	838	828	1,143	1,130	1,148	1,130	1,148	1,148	1,131	12,250
Range	37.90	11.00	12.00	1.00	3.95	25.30	41.90	126.00	274.00	189.00	203.00	109.00	274.00
Median (kg/m ³)	0.29	0.25	0.19	0.07	0.06	1.25	2.12	0.64	1.07	6.94	1.37	0.49	
Std Deviation	2.20	0.70	0.44	0.10	0.26	2.78	2.58	9.23	22.21	27.68	19.96	10.14	
Skewness	11.15	6.12	23.56	2.00	8.34	2.45	4.81	8.83	4.03	2.24	3.42	4.67	

Percentage of Missing Values = 11%



S Meiriki

Flow & Yield Summary

Statistic	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Total
Flow (M ³ /m)	13.18	9.41	4.00	2.54	2.67	26.25	15.49	6.41	21.25	109.17	76.20	22.22	308.80
%	4%	3%	1%	1%	1%	9%	5%	2%	7%	35%	25%	7%	100%
Yield (M ³ kg/m)	41	6	1	0	1	91	60	69	1,142	7,613	3,355	443	12,822
%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	1%	9%	59%	26%	3%	100%

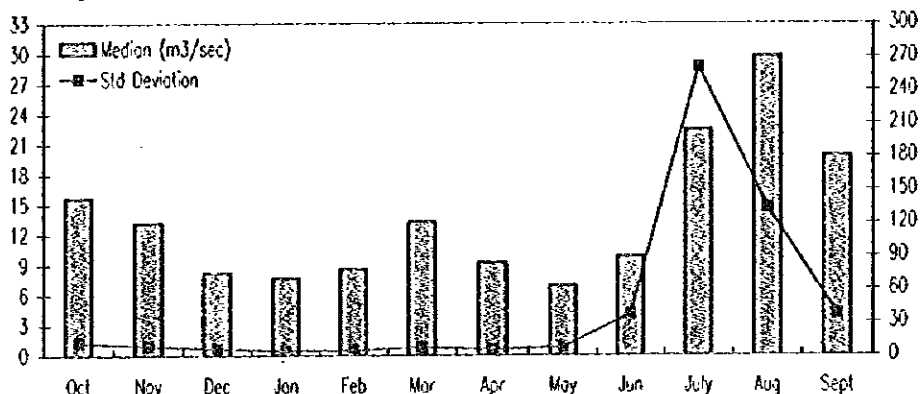
図 3.5.2.2 迷方宮子地点の月平均流量、月平均浮遊砂濃度、月平均浮遊砂量

GRAND SUMMARY AT CHOYOU

Discharge Summary

Statistic	Dry Season								Wet Season				Total
	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sept	
No of Data	1,115	1,079	1,084	1,114	1,045	1,146	1,108	1,084	1,078	1,022	1,084	1,079	13,038
Range	79.48	42.82	30.63	19.21	36.8	48.15	27.829	93.76	623.191	7274.73	2059.09	610.75	7274.73
Median (m3/sec)	15.7	13.2	8.245	7.72	8.59	13.35	9.25	6.95	9.865	22.45	29.75	19.9	
Std Deviation	11.90	8.68	6.02	4.13	4.65	7.16	5.40	7.40	37.28	260.68	133.77	37.89	
Skewness	1.09	0.52	1.11	0.51	0.85	0.98	0.41	4.98	9.25	22.35	6.82	6.52	

Percentage of Missing Values = 3%

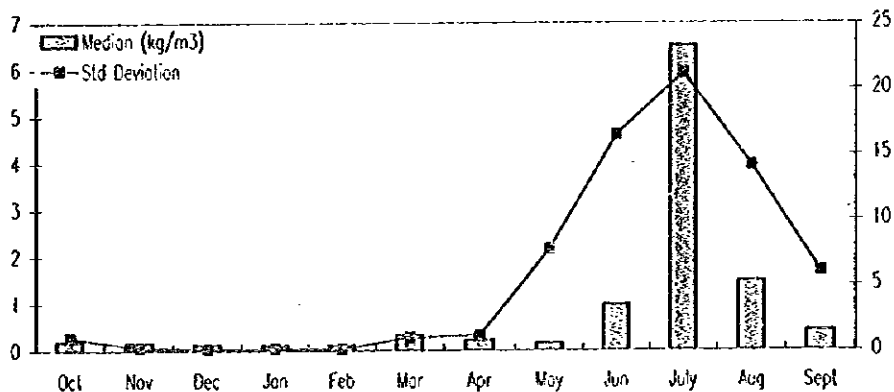


Q Choyo

Suspended Load Summary

Statistic	Dry Season								Wet Season				Total
	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sept	
No of Data	837	739	744	755	760	1,147	1,129	1,147	1,129	1,147	1,147	1,129	11,810
Range	11.6	1.93	0.66	0.7	0.69	8.85	21.3	83.6	106	190.96	124	71.1	199.96
Median (kg/m3)	0.2	0.16	0.12	0.1	0.1	0.33	0.22	0.16	0.98	6.51	1.49	0.43	
Std Deviation	0.98	0.22	0.10	0.13	0.11	0.99	1.16	7.74	16.44	21.15	14.12	6.04	
Skewness	8.04	4.04	1.32	1.86	2.02	4.34	13.42	6.51	2.86	2.29	2.92	6.00	

Percentage of Missing Values = 14%



S Choyo

Flow & Yield Summary

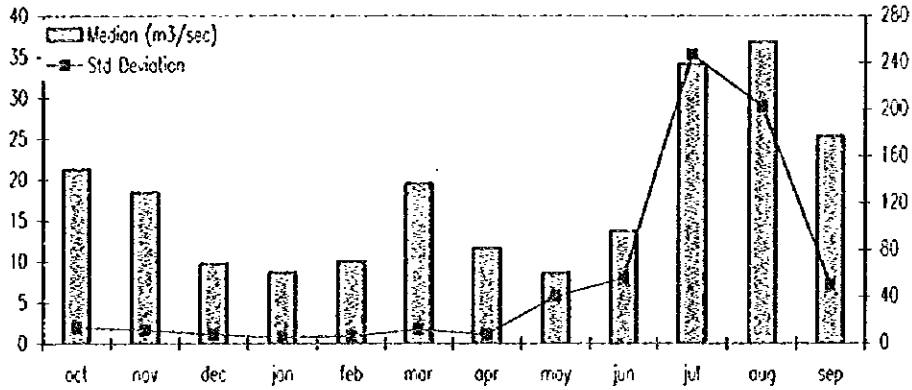
Statistic	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Total
Flow (Mill m3/m)	52.49	40.11	26.10	22.34	24.20	41.57	27.37	21.87	53.56	152.16	200.69	76.64	739.09
%	7%	5%	4%	3%	3%	6%	4%	3%	7%	21%	27%	10%	100%
Yield (Mill kg/m)	22	7	3	3	3	28	16	117	1,393	5,617	3,923	305	11,437
%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	12%	49%	34%	3%	100%

図 3.5.2.3 朝陽地点の月平均流量、月平均浮遊砂濃度、月平均浮遊砂量

GRAND SUMMARY AT KINREJI

Discharge Summary

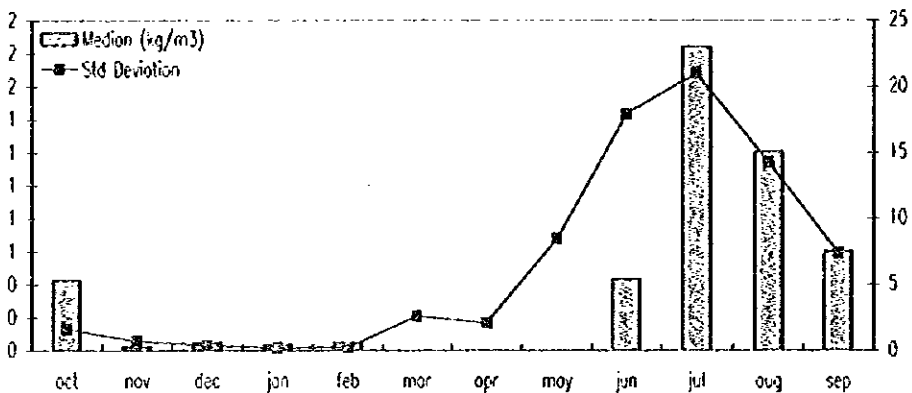
Statistic	Dry Season									Wet Season				Total
	oct	nov	dec	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep		
No of Data	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085	13,020	
Range	128.45	71.51	56.66	27.392	38.06	110.4	64.8	861.61	1425	6269.8	4229.25	1037.1	6269.80	
Median (m ³ /sec)	21.29	18.46	9.77	8.67	10.04	19.56	11.65	8.65	13.744	34.1	36.85	25.29		
Std Deviation	13.98	11.75	7.45	5.36	6.37	11.92	7.94	40.42	55.82	247.16	202.55	50.44		
Skewness	1.21	0.45	1.50	0.37	0.19	0.65	1.00	13.11	11.30	15.60	10.66	6.14		



0.12

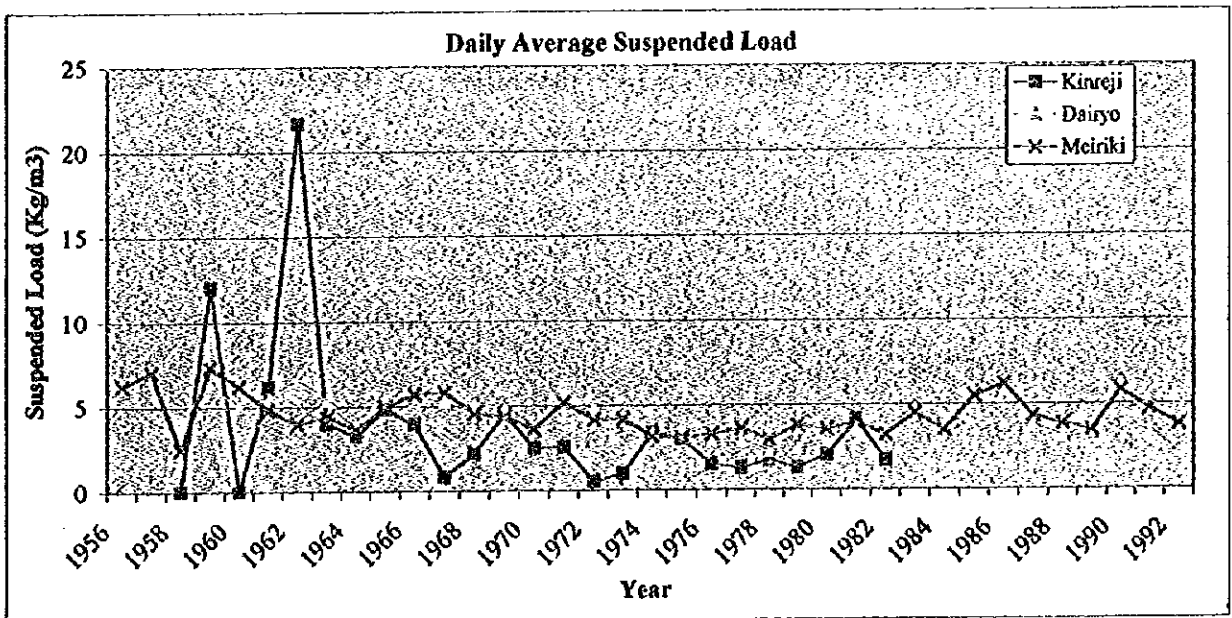
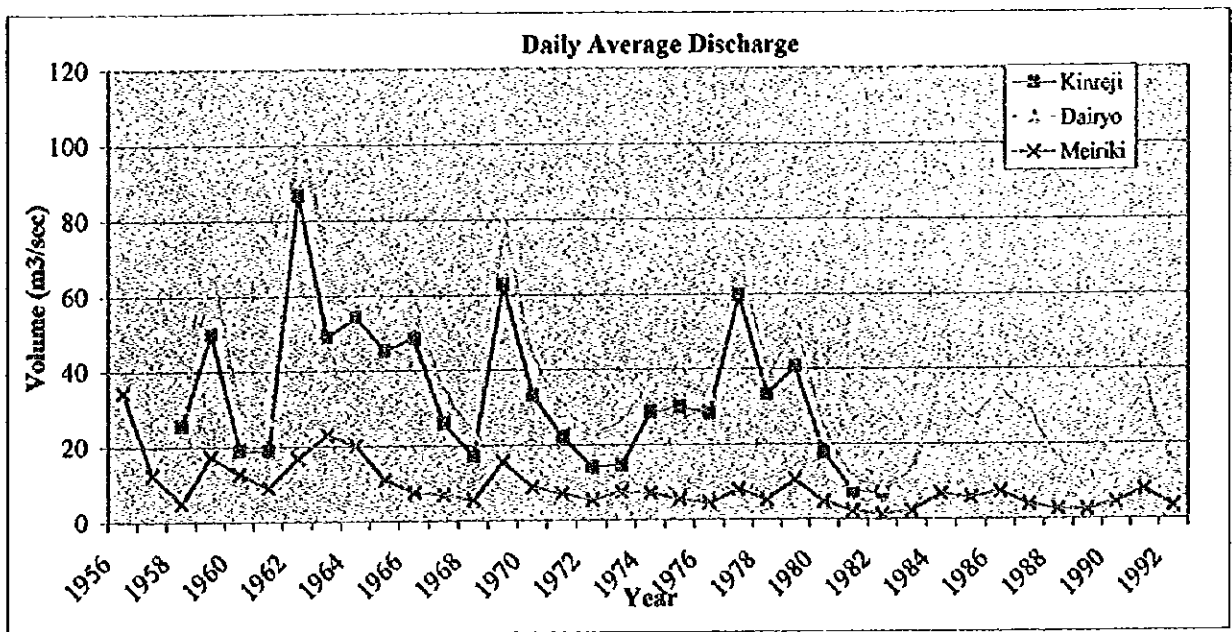
Suspended Load Summary

Statistic	Dry Season									Wet Season				Total
	oct	nov	dec	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep		
No of Data	1,086	1,080	1,086	1,086	1,053	1,086	1,076	1,086	1,074	1,086	1,086	1,084	12,974	
Range	33.20	8.10	6.23	2.09	4.38	32.47	32.51	153.95	265.40	224.60	212.22	102.28	265.40	
Median (kg/m ³)	0.43	0.02	0.05	0.03	0.05	(0.42)	(1.15)	(0.12)	6.44	1.84	1.21	0.60		
Std Deviation	1.61	0.71	0.37	0.20	0.24	2.58	2.09	8.47	17.94	20.99	14.28	7.37		
Skewness	(5.57)	1.06	5.63	4.45	(6.42)	(2.47)	(3.53)	(6.12)	(2.41)	(1.12)	(3.73)	(2.53)		



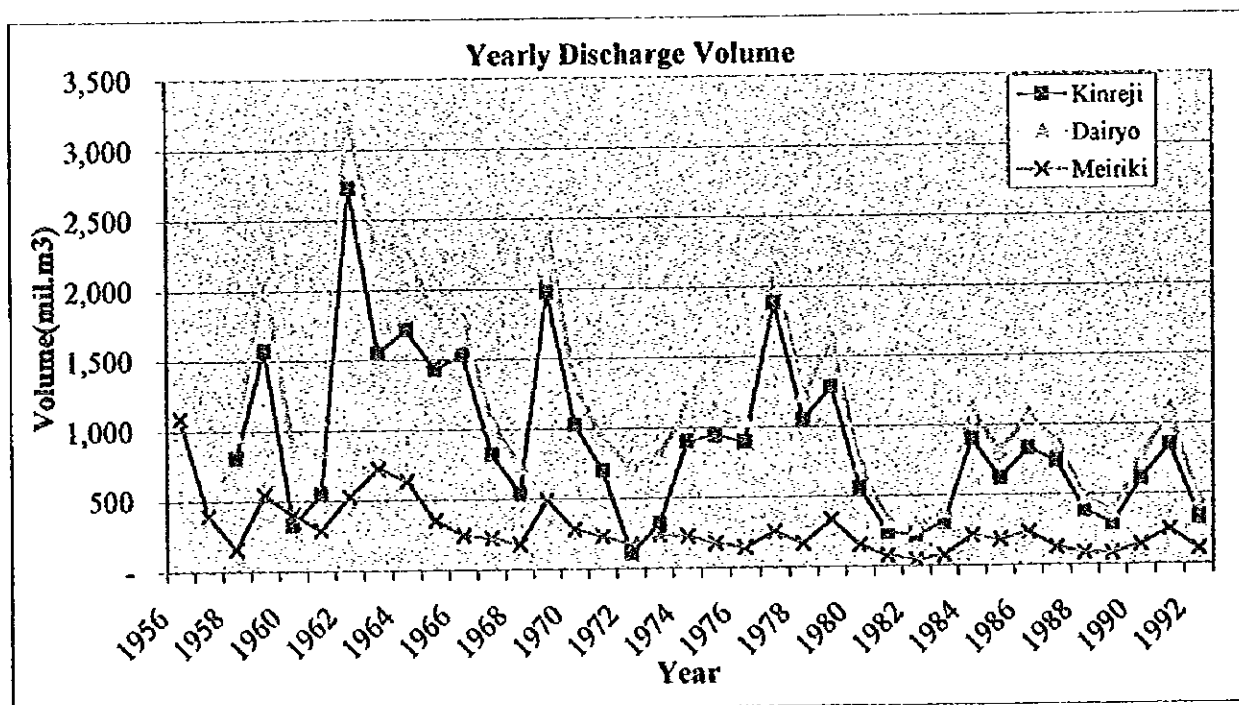
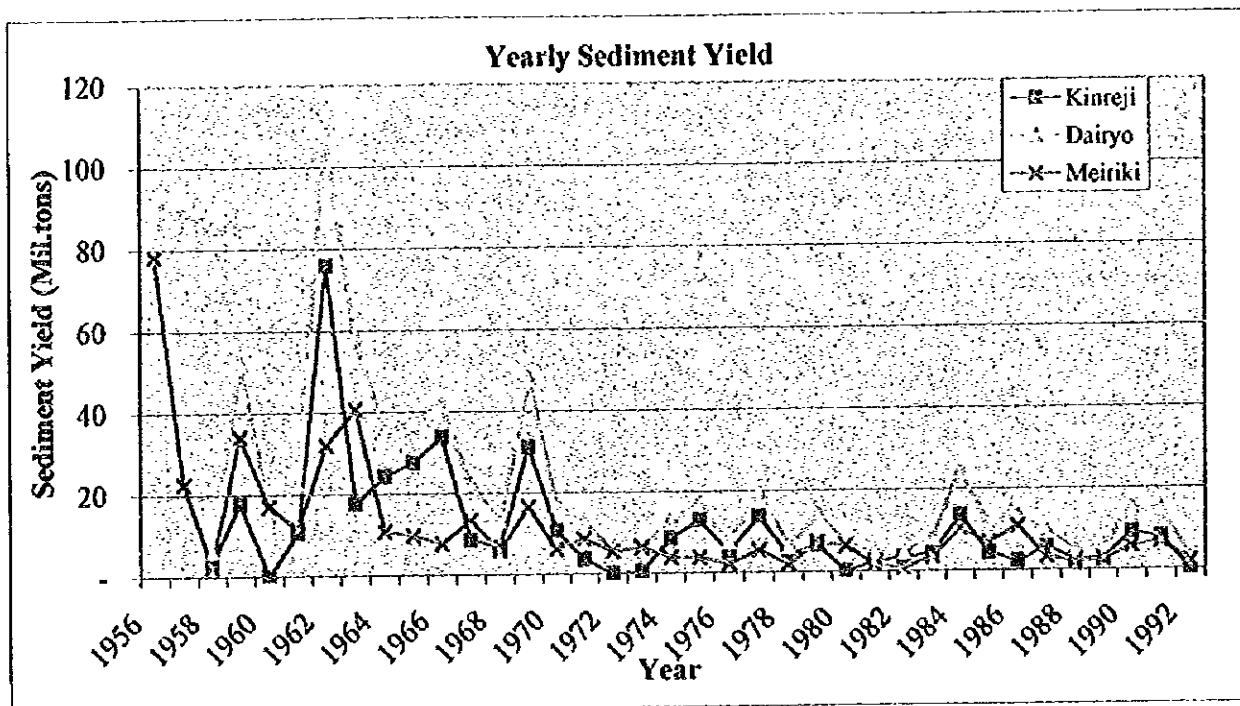
0.12

図 3.5.2.4 金嶺寺地点の月平均流量、月平均浮遊砂濃度、月平均浮遊砂量



	Avg. Discharge(m3/sec)			Avg. Suspended Load(kg/m3)		
	Kinreji	Dairyo	Meiriki	Kinreji	Dairyo	Meiriki
Minimum	7.0	8.4	1.4	0.0	2.1	2.5
Maximum	86.5	103.4	34.5	21.7	6.4	7.3

図 3.5.2.5 大凌河、遼力営子、金嶺寺地点の日平均流量および日平均浮遊砂濃度の経年変化



	Annual Flow(ml.m3/year)			Yield (Mil.tons/year)		
	Kinreji	Dairyo	Meiriki	Kinreji	Dairyo	Meiriki
Minimum	111.1	264.9	45.3	0.1	2.2	0.8
Maximum	2728.7	3261.2	1089.4	75.8	107.8	78.3

図 3.5.2.6 大凌河、迷力営子、金嶺寺地点の年間浮遊砂量および年間流量の経年変化

の季節成分が分離された時系列データがである。第2段階の成分分離では、季節成分が分離された時系列から30年の長期傾向成分が分離する。第1段階、第2段階での季節および長期傾向成分の分離は、Heibeeger, et. al と同様の Computerized, non-Parametric, Locally Weighted Regression Method を用いた。

(2) 解析結果

図 3.5.2.10、3.5.2.11、3.5.2.12 に大凌河、迷力営子、金嶺寺、朝陽における浮遊砂量および流量の成分別の時系列解析結果を示す。図中の4時系列は上から、観測データの自然対数値、30年長期傾向成分、季節成分およびその他の成分を示す。30年傾向成分は、基底流量のように、毎月変わらず流出する量を示す。30年傾向成分は程度の差はあるがいずれの地点においても、1956年よりやや増加し1960年後半から1970年に最大となり、その後減少し続け、1985年から1990年に最小となり、1990年に入ってから再び増加する傾向を示している。

3.5.2.4 日流量および日浮遊砂量の短期流出予測

白石ダムに流入する浮遊砂量とその時期が事前に予測できれば、効率よく浮遊砂を排出できるであろう。さらに、各流量観測所における日流量と日浮遊砂量の関係式を算出すれば、その上流流域での流量、浮遊砂量の流出特性が把握できる。

(1) 従来の回帰式と時系列解析

従来、河川全断面についての浮遊砂量は流量の指数関数として表わせることが認められており、1992年F/S時においては、以下のような大凌河地点の回帰式が得られている。

$$SS_{day} = 4.853 * Q_{day}^{1.909}$$

ここに、 SS_{day} =日浮遊砂量 (kg/m³)

Q_{day} =日流量 (m³/s)

一般に、水文データ解析に用いられる回帰式を求める場合、水文データは自然対数値に変換されるが、時系列に含まれる連続的な相関はしばしば無視される。つまり、この回帰式は水文データが連続的に相関がないこと、正規分布することを前提にしているので、これらの前提が成り立たない時、求められた回帰式の精度は低くなる。

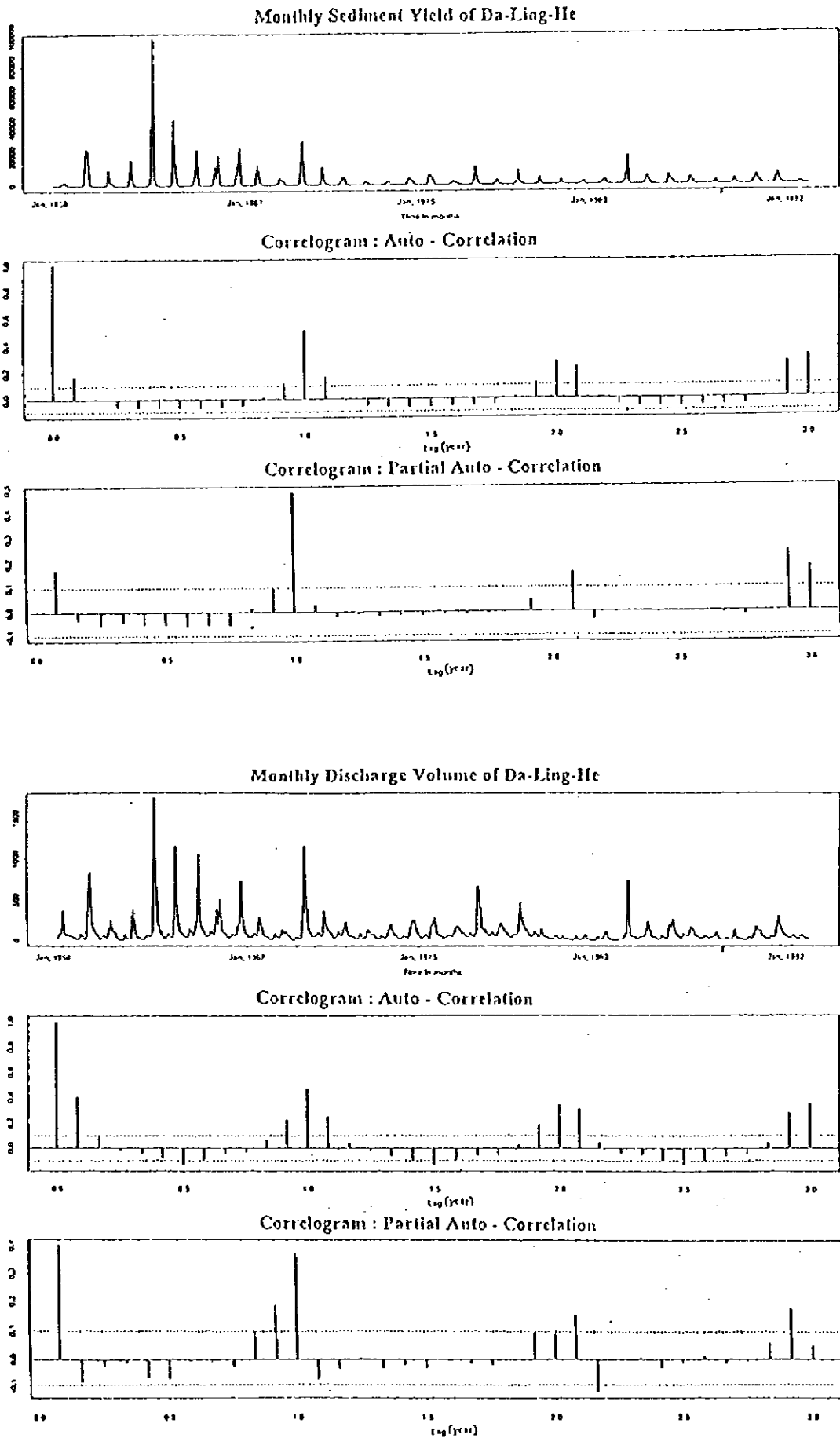


図3.5.2.7 大凌河地点における月流量時系列、月浮遊砂量時系列およびコレログラム
489

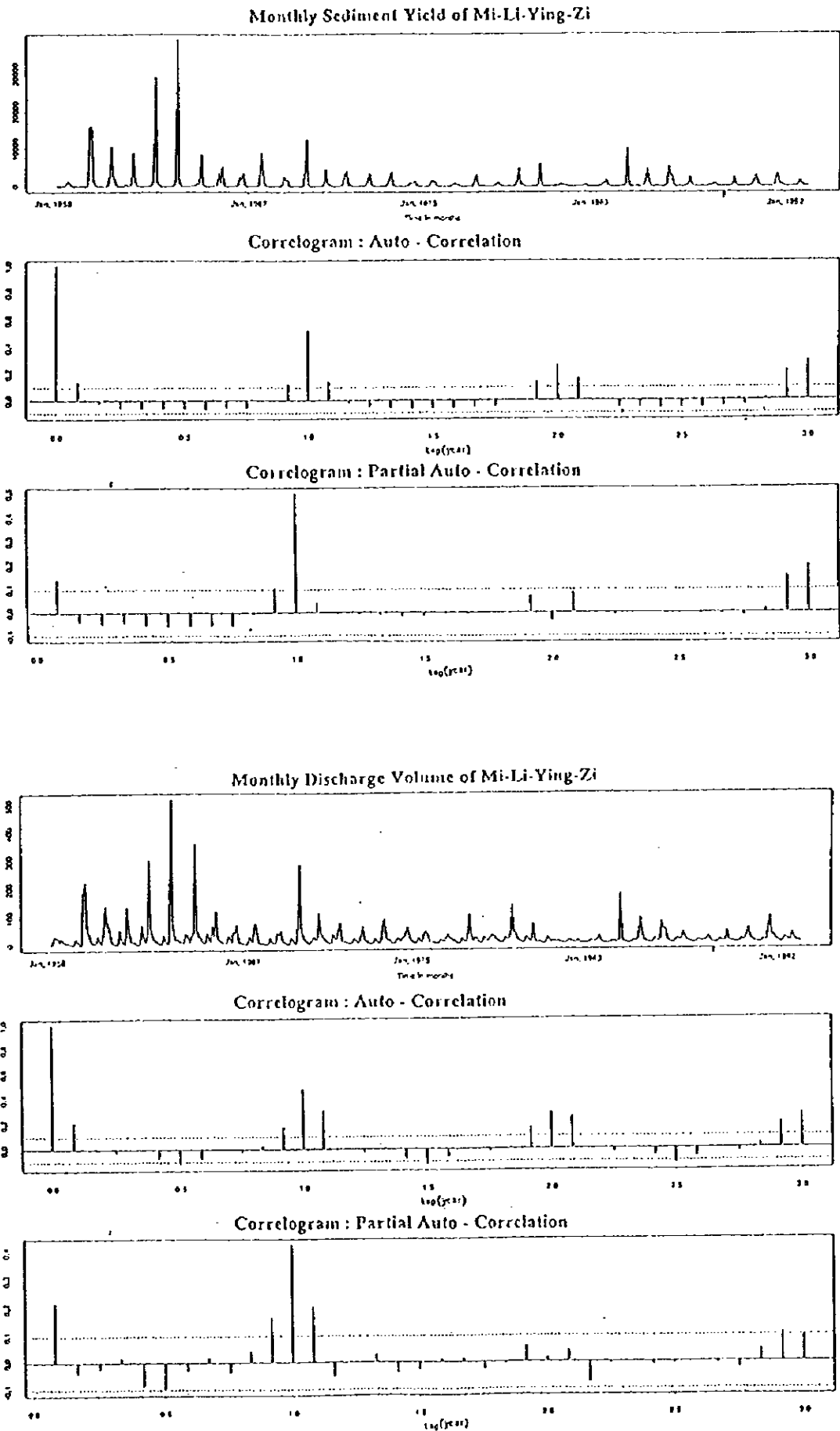


図3.5.2.8 迷力營子地点における月浮遊砂量時系列、月流量時系列およびコレログラム
490

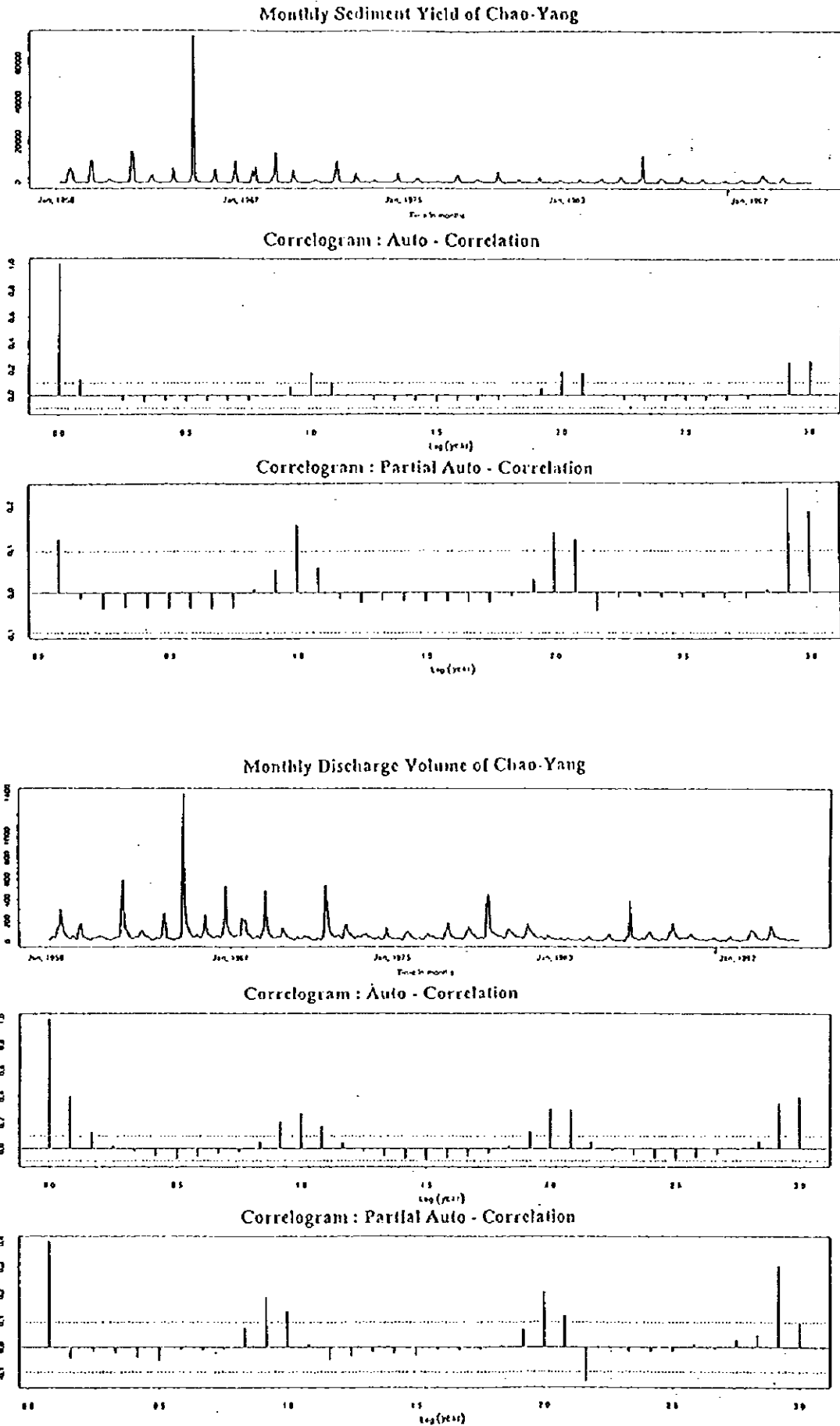
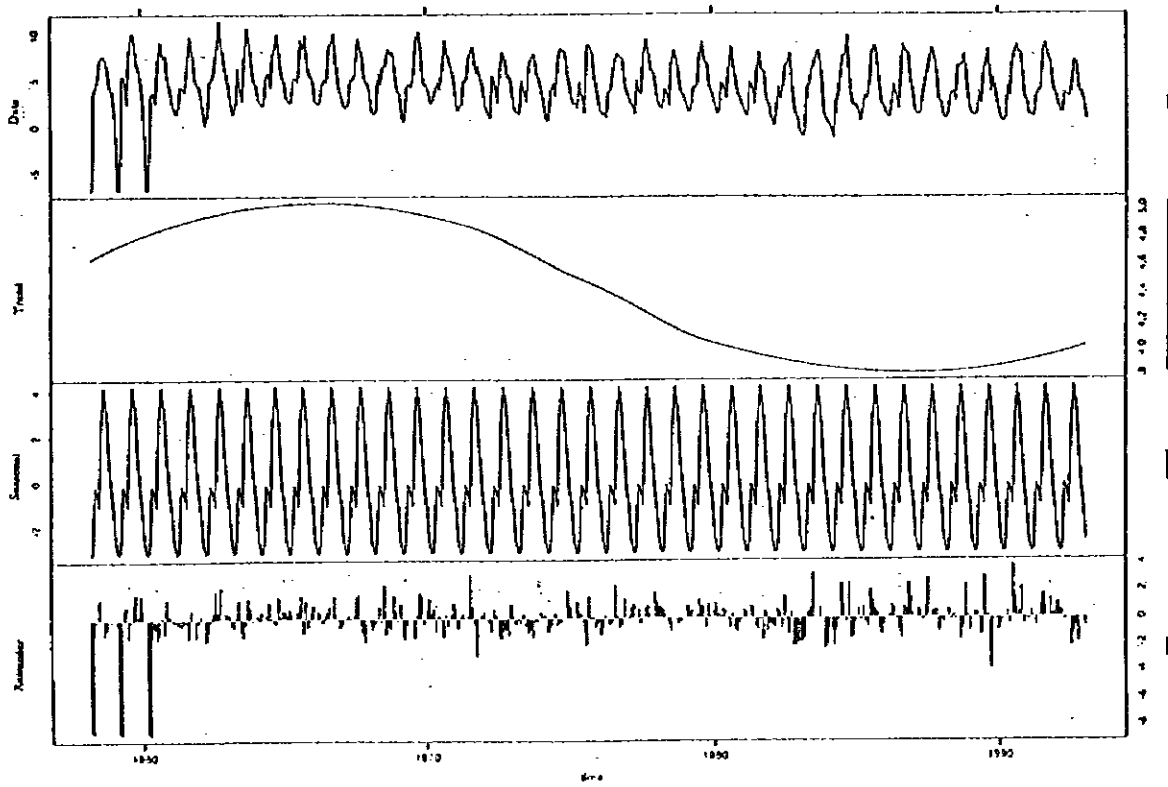


図3.5.2.9 朝陽地点における月浮遊砂量時系列、月流量時系列およびコレログラム

Decomposition of Monthly Sediment Yield Series at Da ling he



Decomposition of Monthly Discharge Volume Series at Da ling he

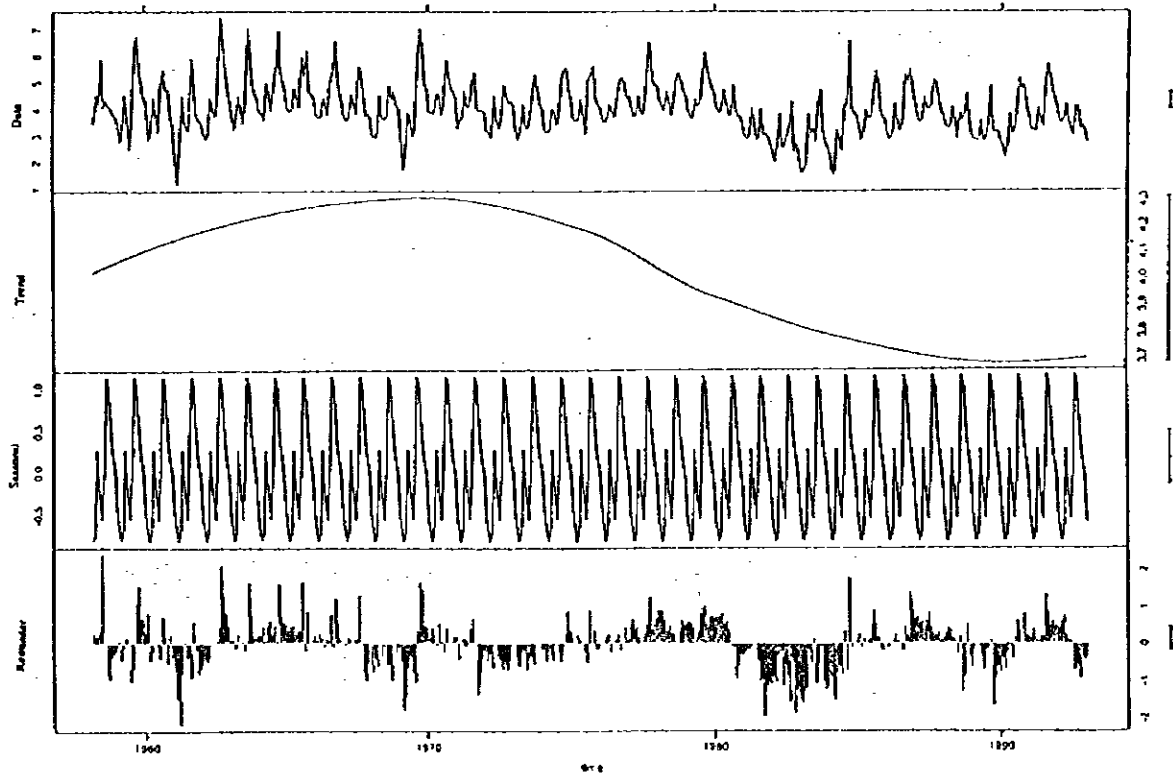
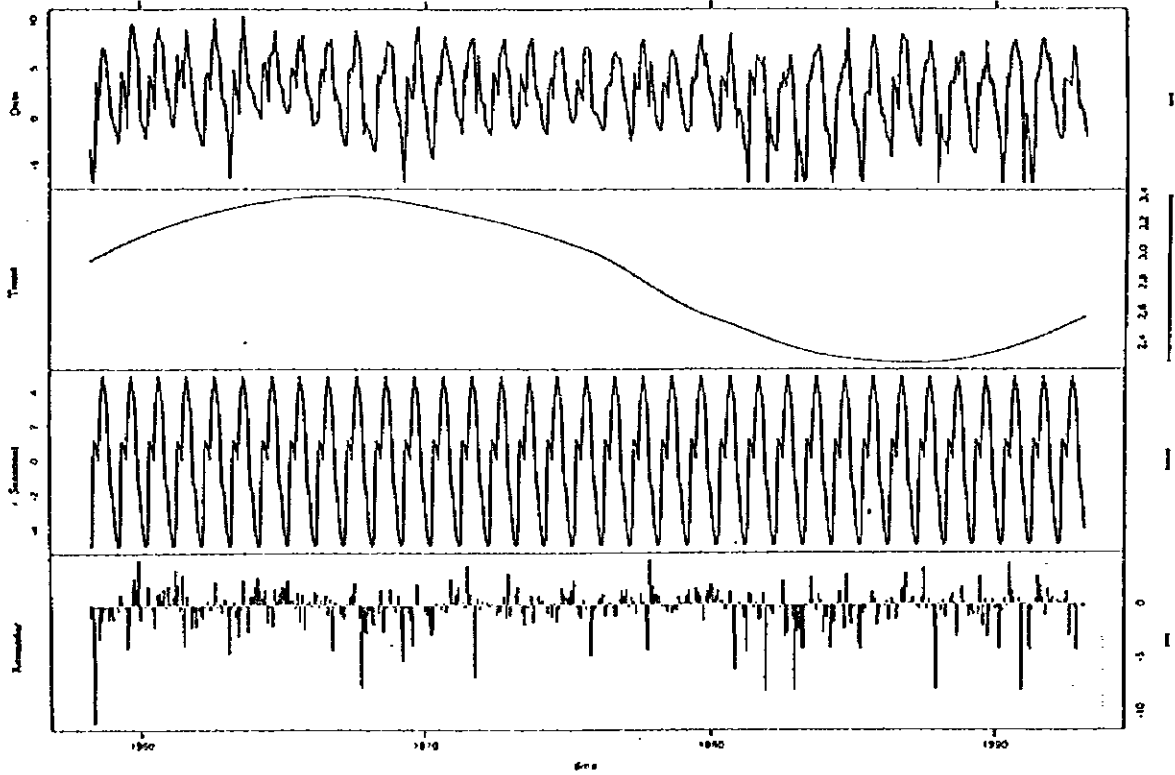


図 3.5.2.10 大凌河地点の月浮遊砂量時系列、月流量時系列の成分分離

Decomposition of Monthly Sediment Yield Series at Mt Li ying zi



Decomposition of Monthly Discharge Volume Series at Mt Li ying zi

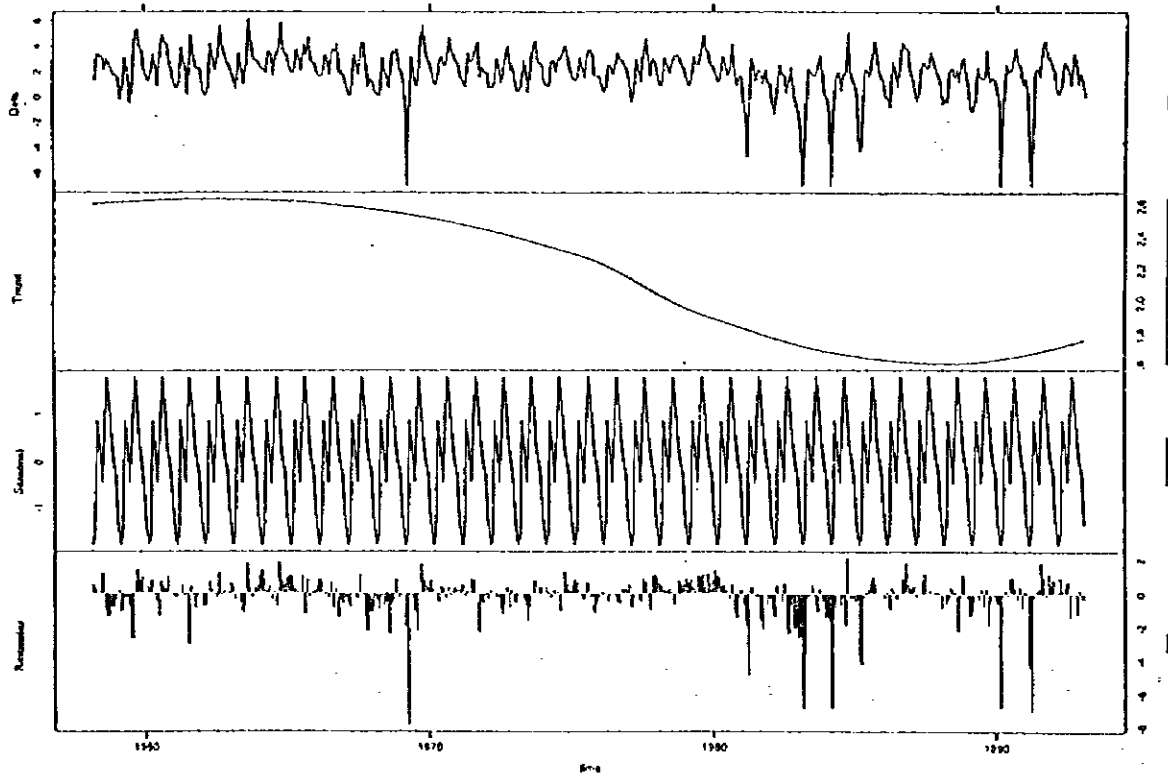
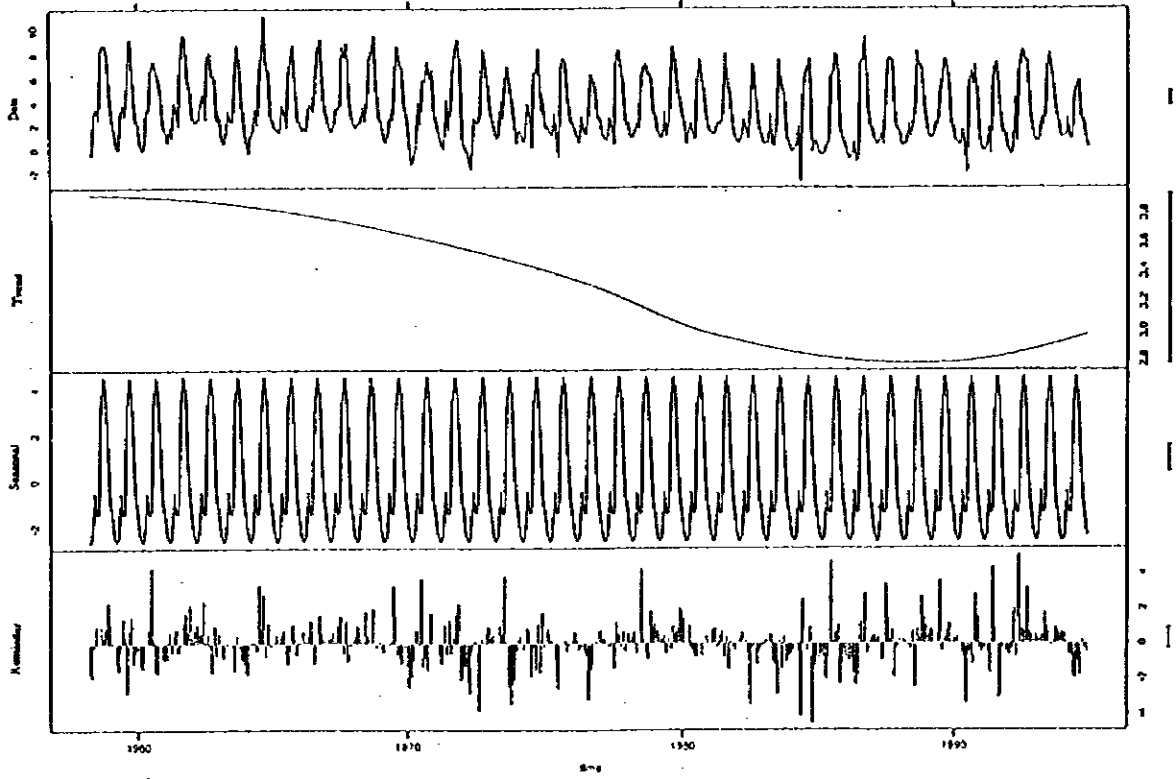


図 3.5.2.11 迷力営子地点の月浮遊砂量時系列、月流量時系列の成分分離

Decomposition of Monthly Sediment Yield Series at Chao yang



Decomposition of Monthly Discharge Volume Series at Chao yang

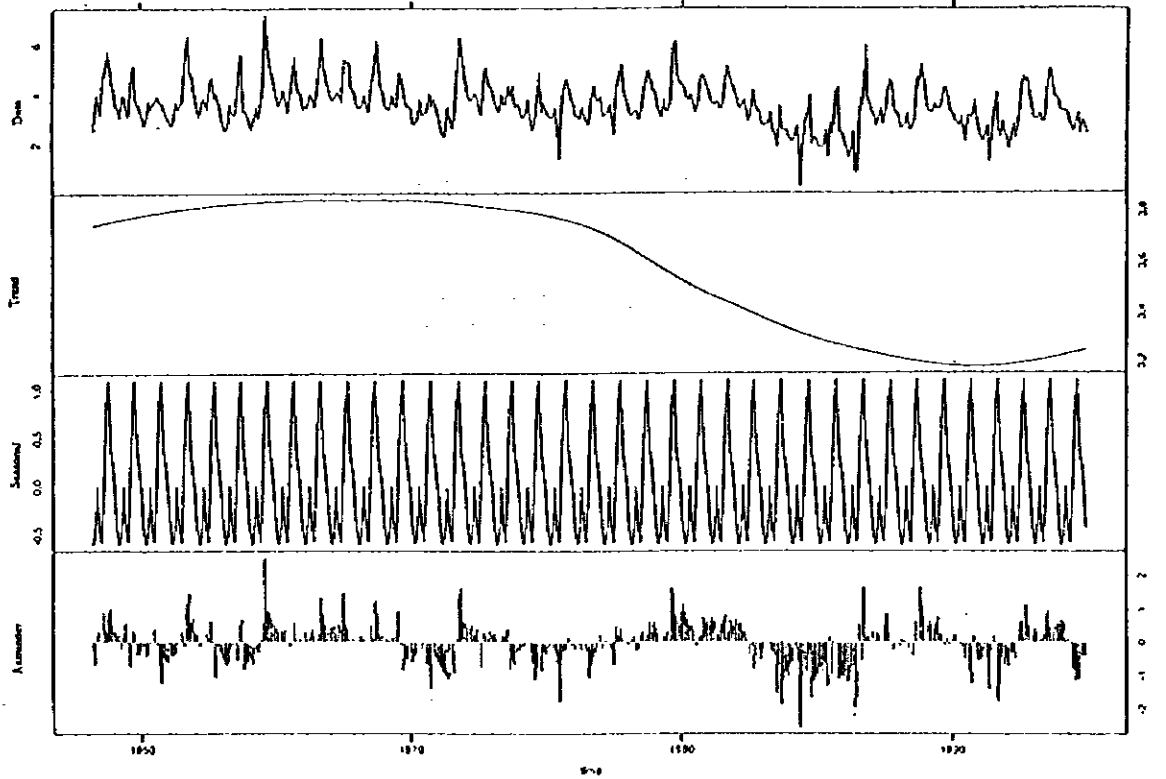


図 3.5.2.12 朝陽地点の月浮遊砂量時系列、月流量時系列の成分分離

一方、統計的手法をもちいて、不規則な水文データ時系列のなかに、連続する相関を見いだすことができる。ARIMA(Auto Regressed-Integrated - Moving Average)は、時系列解析手法の一つで、変動の激しい時系列データの解析に有効である。ここでは、日流量、日浮遊砂量の短期予測に用いた。

(2) ARIMA を用いた日流量、日浮遊砂量の予測

2つのARIMAモデルを用いて明日の大凌河における浮遊砂量を予測した。図3.5.2.13に浮遊砂量予測モデルの開発手順を示す。モデルAは、明日の流量を予測するモデルで、今日の大凌河上流域の降雨、朝陽、迷力管子の流量と予測する期間の週(1月1-7日は第1週)を予測変数として、明日の大凌河の流量を予測する。モデルBはモデルAで予測された明日の大凌河の流量と予測する期間の週を予測変数として、明日の大凌河の流量を算定する。

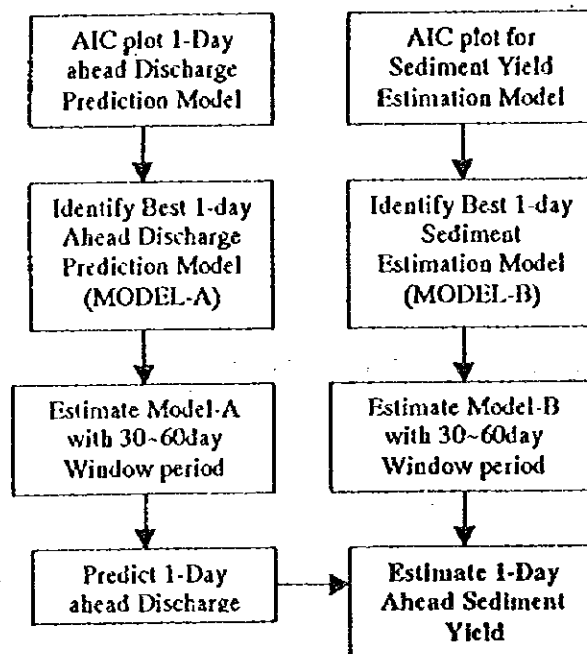


図3.5.2.13 浮遊砂量を予測モデル開発手順

A、B 各々の ARIMA モデルは以下のように求めた。

1) モデルのパラメーター: p 、 d 、 q と予測変数ベクトルの選定

パラメーター p 、 d 、 q は Akaike's Information Criteria(AIC) が最小となるようトライアンドエラーにより求めた。図 3.5.2.15 にその結果を示す。たとえば、図 3.5.2.14(a) はモデル A の様々な p 、 d 、 q の組み合わせの AIC である。 $(p, d, q) = (2, 0, 1)$ の AIC が最小であり、もっとも適切な組み合わせであった。一方、図 3.5.2.14(b) は、モデル B の様々な p 、 d 、 q の組み合わせの AIC である。 $(p, d, q) = (1, 1, 1)$ の AIC が最小であり、もっとも適切な組み合わせであった。

2) AR(自己回帰)式および MA(移動平均)式中のパラメーター a, a_1, \dots, a_p および b_1, b_1, \dots, b_q の同定
予測日より 30 日から 60 日前の水文時系列データを用いた。

3) モデルの検証

モデルの検証は、過去の実測水文時系列データを用いる。まず、過去のある期間における実測水文時系列を用いてモデルを作成する。次にそのモデルを用いて、次の期間の水文時系列を予測する。モデルの精度の善し悪しは、予測された時系列と、その期間の実測水文時系列との誤差により判定する。すなわち、その誤差が小ささげえらば小さいほど予測精度の高いモデルということである。

(3) モデルの予測結果

図 3.5.2.15 に 1962 年、1969 年、1984 年の洪水時での大凌河における日流量、日浮遊砂量の予測結果を示す。また、図 3.5.2.16 に 1964 年、1970 年、1978 年の平水時の予測結果を示す。赤の実線が実測値、緑の実線が予測値である。たとえば、1962 年 7 月 22 日から 8 月 11 日の流量予測を示す図においては、流量予測は 7 月 24 日から始まり、24 日においては 25 日、25 日においては 26 日の流量を予測している。なお、ARIMA(2,0,1)モデルの AR 式および MA 式のパラメーターは、7 月 24 日より 30 日から 60 日前の流量時系列データより求められている。したがって、7 月 24 日に近いほど予測精度は高い傾向にある。

洪水時、平水時とも流量、浮遊砂量の予測は概ね良好である。また、時系列解析により、洪水時、平水時ともに、短期であれば流量および浮遊砂量の流出予測が可能であることを示せたと考える。しかし、洪水時においては予測値が実測値を下まわる場合、ピークの出現が一日ずれる場合もある。したがって、実際に排砂オペレーションに役立たせようとするならば、気象観測などによる手法を組み合わせるなどして、より精度の高い予測手法を確立すべきであろう。

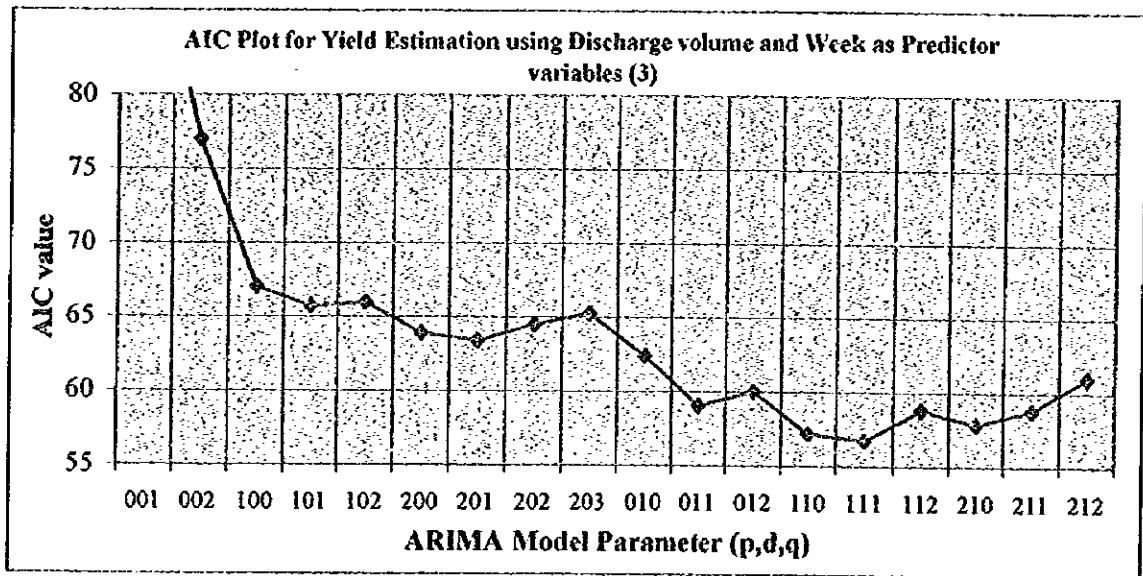
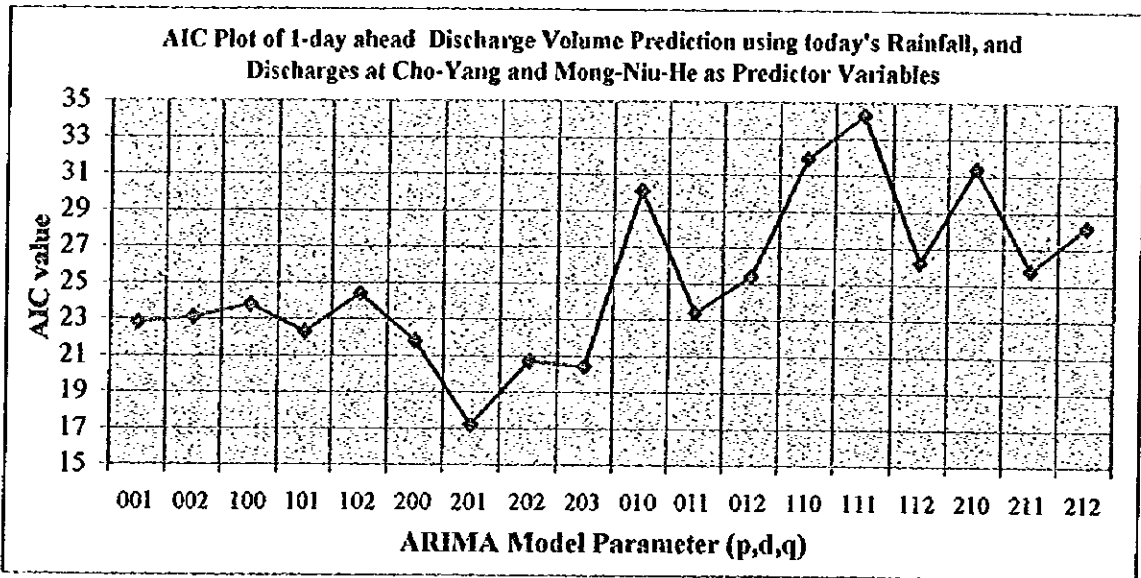


図 3.5.2.14 ARIMA モデルパラメーターの組み合わせと AIC 値

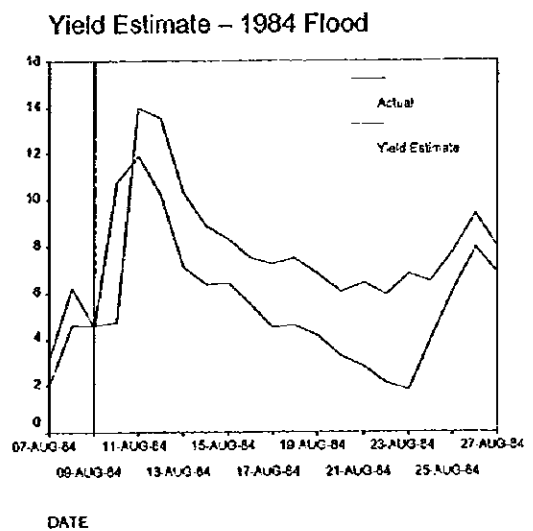
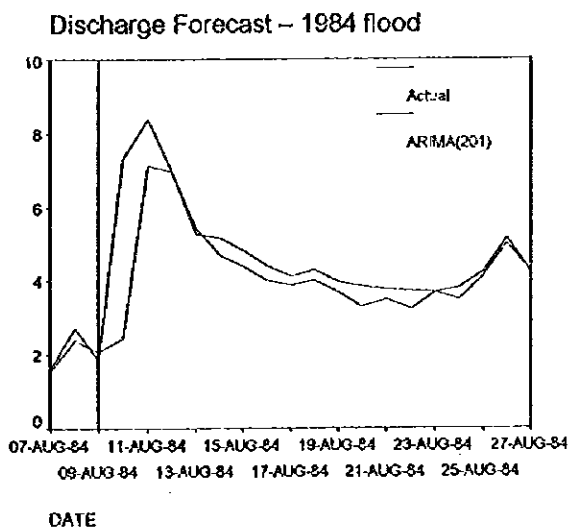
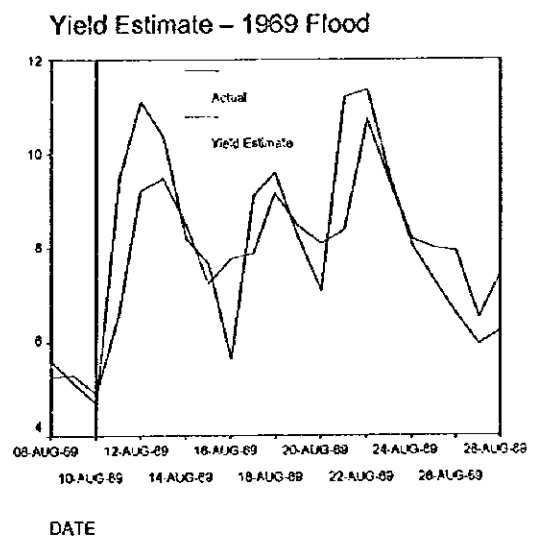
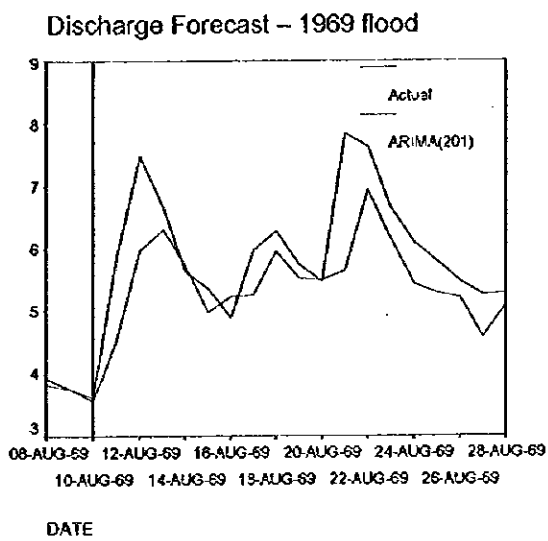
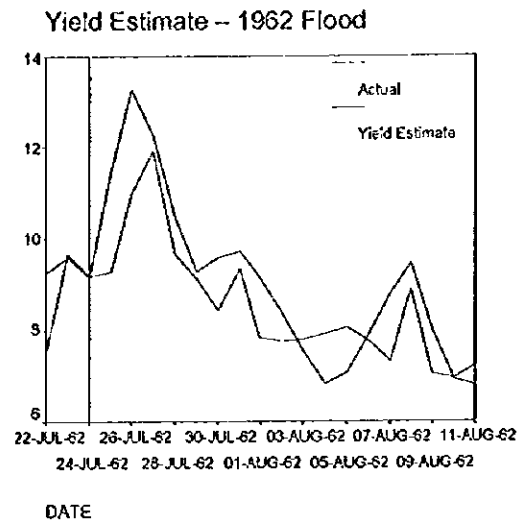
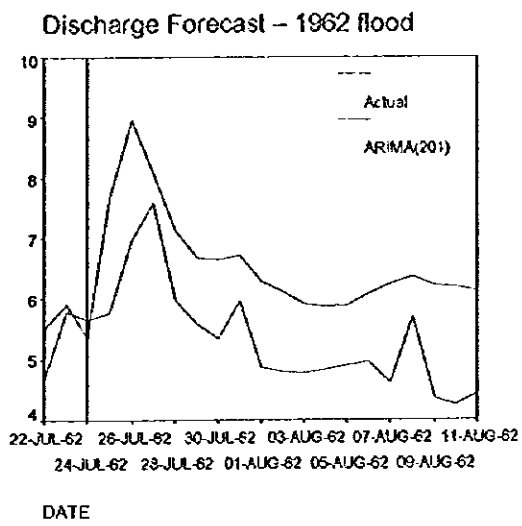


図 3.5.2.15 洪水時の日流量および日浮遊砂量予測結果

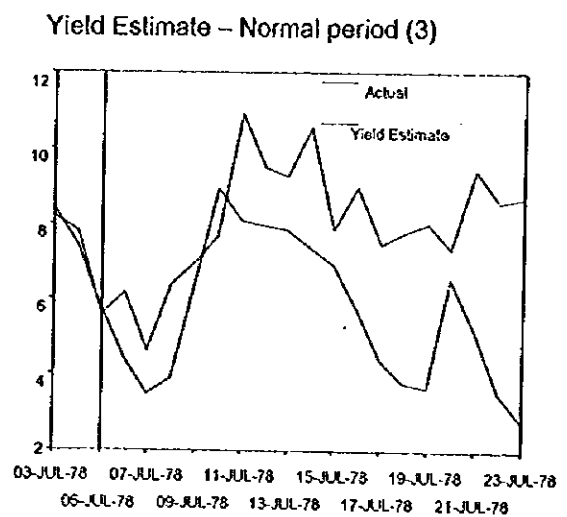
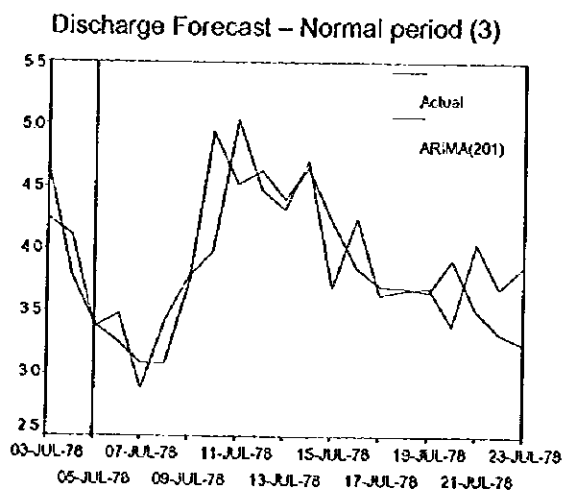
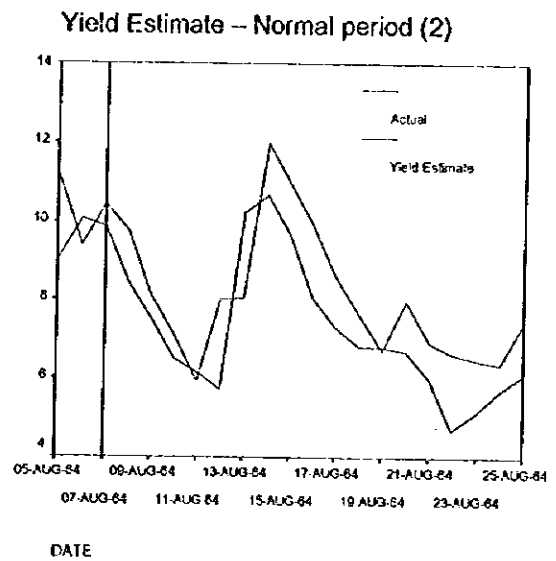
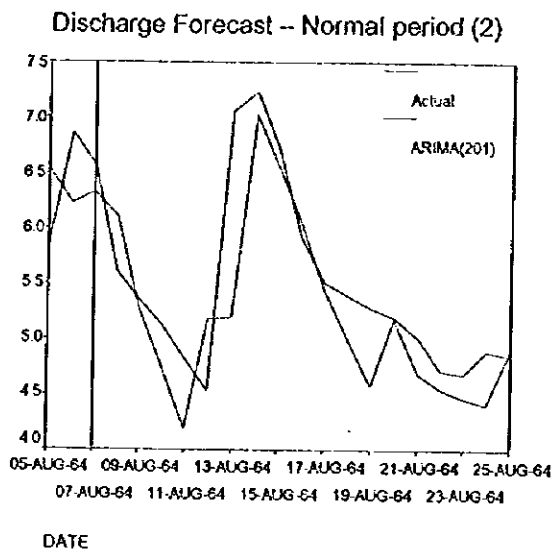
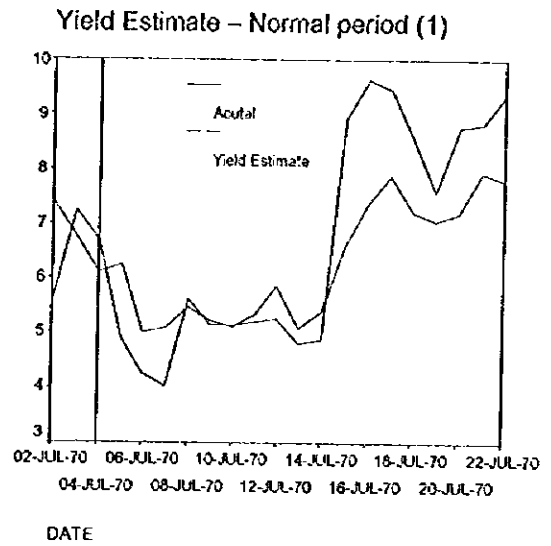
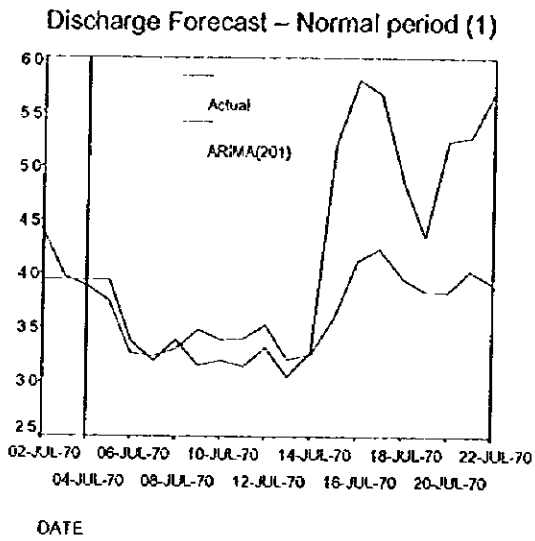


図 3.5.2.16 平水時の日流量および日浮遊砂量予測結果

3.5.3 リモートセンシングによる土砂生産域の推定

3.5.3.1 調査概要

(1) 調査目的

本調査では、白石ダムサイト上流の大凌河流域を対象に、リモートセンシングによる河道の土砂堆積域の変化および土地被覆とその経年変化解析を行い、さらに、得られた河道の土砂堆積状況、土地被覆状況と浮遊砂量との関連を検討して土砂生産域を推定することを目的とする。

(2) 解析対象範囲と調査地概要

本調査の対象範囲は、中国遼寧省の大凌河流域のうち白石ダムサイトの上流域（流域面積18,272km²）とする。なお、本対象地全域はランドサット TM/MSS の約3シーン分に相当するため、複数画像を接合処理し、画像解析を実施した。

対象とする大凌河は遼寧省西部に位置し、朝陽市・北票市・義県・錦県を経て遼東湾へと注いでおり、河川の総延長は435km、流域総面積23,263km²である。大凌河本流の河幅は約1~4kmであり、本流および支流の両岸には広大な沖積平地が発達している。これらの地域は耕作地として利用され、農業が盛んに行われている。

白石ダム地点は義県市街より約40km北西の大凌河本流にあり、貯水池周辺の山地・丘陵地は標高200~300mのほぼ一定した頂部を連ね、なだらかな稜線を呈している。周辺山地における植生は少なく、沢頭にはガリ（雨裂）がよく発達し、土砂流出が顕著である。また、大凌河上流域は植生が少なく裸地化が進行しており、雨期がはじまる6月から8月にかけて、降雨により表土がされ大量の土砂が河川に流出している。

そのため、総合的な貯水池内の堆砂対策を検討するにあたり、地表に大きく影響する土地被覆を調査し、流域内の土地荒廃状況および白石ダム内に流入する土砂の生産地域の実態把握が不可欠となってくる。

(3) 使用データ

衛星リモートセンシング技術の概要

衛星リモートセンシング技術とは、対象物を離れた所から観測あるいは計測し、その性状を直接触れずに分析する技術である。この技術の観測には、対象物からの反射または放射される電磁波が主として用いられる。この技術は、もとは軍事目的に開発された技術で、1960年頃から民間分野で適用され、センサ技術やコンピュータ技術の発展とともに環境、防災、農業などの分野で普及してきた。

地表面の反射スペクトル特性：

衛星リモートセンシングによって電磁波の観測から、地表の対象物や現象を判読・解析できるのは、「すべての物体は、種類および環境条件が異なれば、異なる電磁波の反射また放射の特性を有する」という物体の電磁波特性に基づいているためである。

図 3.5.3.1 は代表的な対象物である植物、土、水の反射スペクトルパターンを示したものである。図 3.5.3.1 に示すように、植物では近赤外で反射が強い。土では、植物とは異なる特性を示し、可視域と短波長赤外域で反射が強くなっている。また、水は、可視域で反射し、赤外域でほとんど反射しない性質を持つ。このような特性を利用し、離れたところから対象物を認識することが可能となる。

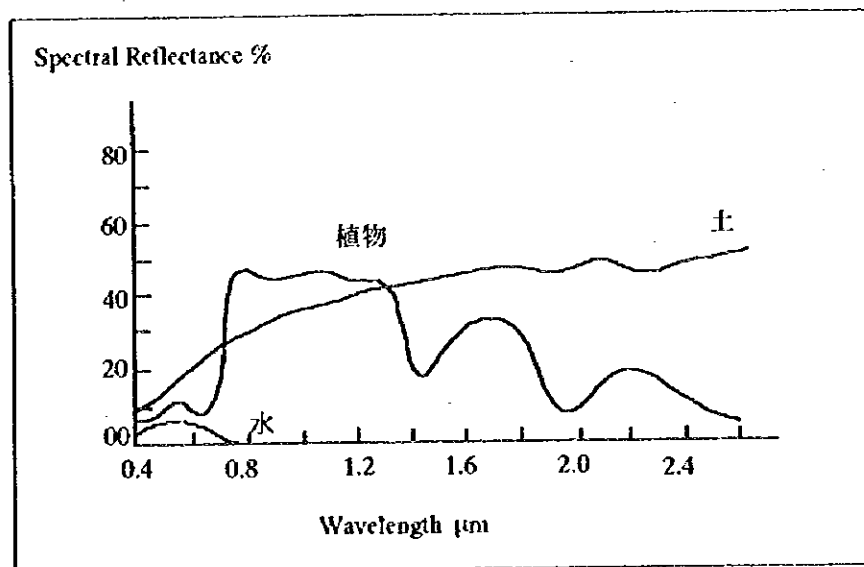


図 3.5.3.1 土地被覆毎の反射スペクトルパターン

衛星リモートセンシングによる土地被覆分類：

衛星リモートセンシングデータを用いた土地被覆分類は、衛星リモートセンシングの陸域への代表的な応用の一つである。土地被覆分類を行うときには、最初に土地被覆区分を設定する必要がある。土地被覆区分は、利用目的、利用者の要求する項目、使用データの地上分解能や分光反射スペクトル特性などを考慮して、既存の地理情報データや航空写真を参考にしながら設定する。

通常、最尤分類法などの教師付き分類あるいはクラスター分析などの教師なし分類手法により分類項目別の分光反射スペクトルパターン特性の差異を利用して土地被覆分類を行うが、近年の研究では、スペクトル情報の他にテクスチャ情報を加えて、異なる土地被覆項目間の境界線を抽出して画像を分類する手法も行われている。いずれの手法を用いても、分類結果の精度は取得したグラウンドトゥルスデータの精度に大きく依存してくる。

植物の活力状況の把握：

植物観測の分野では、主として農作物の収穫予測をおこなうことを目的として、植物の成育状況を示す指標の研究が進められてきた。そして、定量的に計測する手法として人工衛星データを利用することが注目を浴びている。

地球を観測するランドサットなどの地球観測衛星には、人間の目で見えない電磁波の領域を画像化できる利点を持っている。そして、異なる電磁波領域（チャンネル）のデータを組み合わせた指標が数多く提案され検討されてきた。その中で最も一般的な手法として、以下の式が提案されている。

$$NDVI = \frac{(R_{NIR} - R_{RED})}{(R_{NIR} + R_{RED})}$$

NDVI： 植生指標

R_{NIR} ： 近赤外域の分光反射輝度

R_{RED} ： 赤色域の分光反射輝度

植物は健全であれば緑の波長を持ち、可視域の赤色光域で強い反射を示すが、葉の活性が落ちた場合には赤色光の反射が強く、近赤外域での反射が小さくなる。また、農作物などの植物が十分に成育して地表を覆うと、土壌からの反射による赤色光分が減り、作物からの近赤外分が増加する。よって、上記式のように比をとることで、活力度の高低が分かる仕組みになっている。

本指標（NDVI）は観測日時や地域性によってその特徴が若干異なるが、概略的には、

NDVI > 0.3 ---> 森林域などの緑地

NDVI < 0.1 ---> 市街地などの開発地域

という特性を持つことが知られている。

以上の特性より、植物の活力状態を把握することが可能であり、現在、熱帯雨林地帯での広域植物活力状況の調査や地球規模の森林資源調査などにも植生指標（NDVI）が利用されている。

本調査では、土地被覆分類時の参考指標として利用している。

衛星リモートセンシングデータの取得

リモートセンシングによる流域での土地被覆分類とその経年変化調査、土砂生産域の推定には、広範囲の複数時期の地表面情報が必要となる。

そこで、本調査ではセンサの特性、画像解像度、撮影時期、雲量、画質などの条件より使用データの選定を行い、それらのデータを入手し解析に用いた。

取得したリモートセンシングデータ一覧を表 3.5.3.1 に、取得したデータの特徴を表 3.5.3.2 に示す。

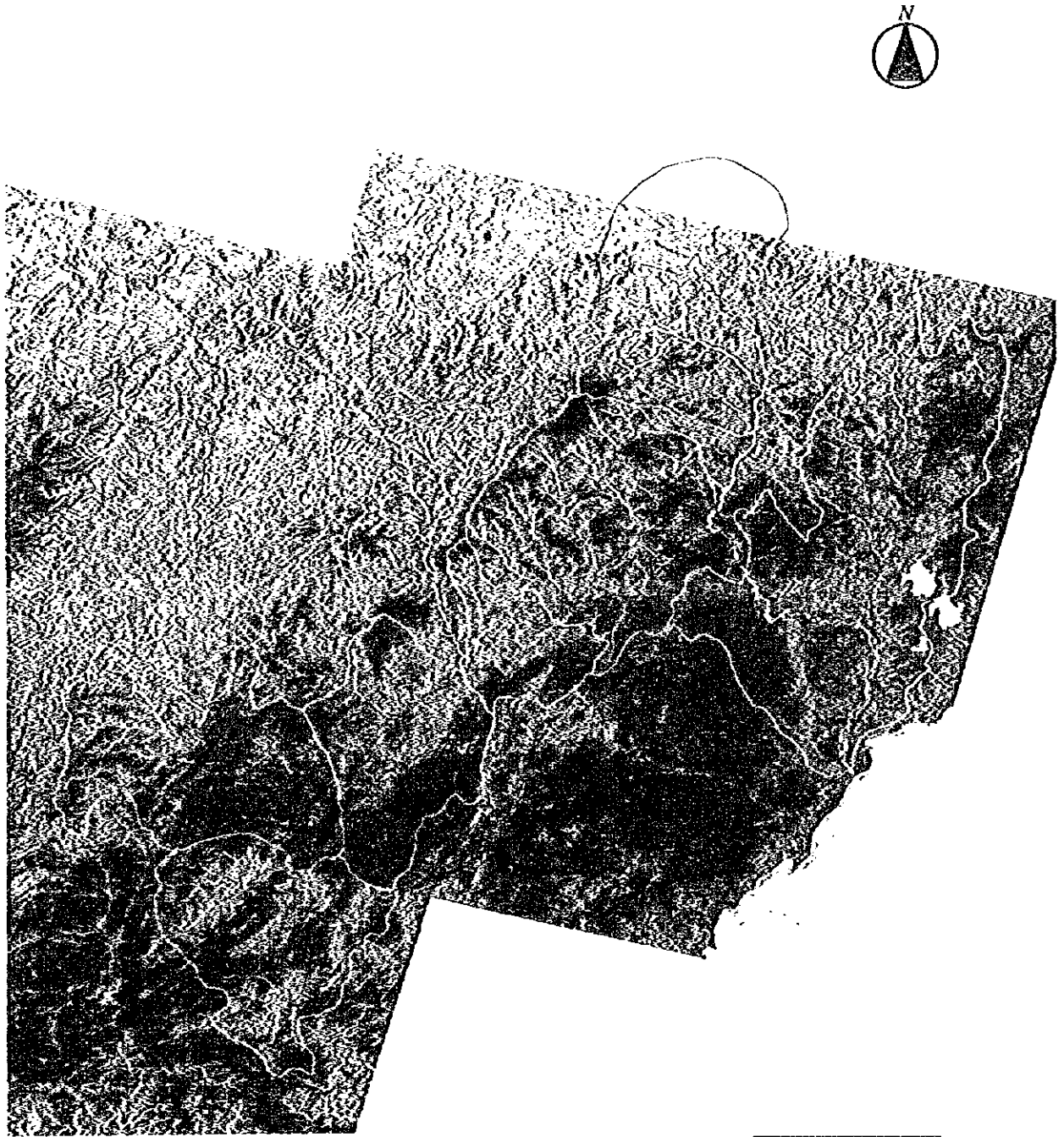
また、図3.5.3.2～図3.5.3.4に1975年9-10月、1984年5-6月、1984年9月のランドサットMSS
 フォールスカラーを、図3.5.3.5に1995年9月のランドサットTMのフォールスカラーを示す。

表3.5.3.1 使用ランドサットTM/MSSデータ一覧

衛星	センサ	Path	Row	観測日	雲量(%)
ランドサット	MSS	130	31	1975/09/24	10
		131	31	1975/10/13	0
		131	32	1975/10/13	0
ランドサット	MSS	120	30	1984/05/15	0
		120	30	1984/09/12	0
		120	31	1984/05/15	10
		120	31	1984/09/12	10
		121	30	1984/06/07	0
		121	30	1984/09/03	10
		121	31	1984/06/07	0
		121	31	1984/09/03	0
		121	32	1984/06/07	0
		121	32	1984/09/03	0
ランドサット	TM	120	31	1995/09/11	0
		121	31	1995/09/18	0
		121	32	1995/09/18	0

表3.5.3.2 ランドサットTM/MSSの観測諸元

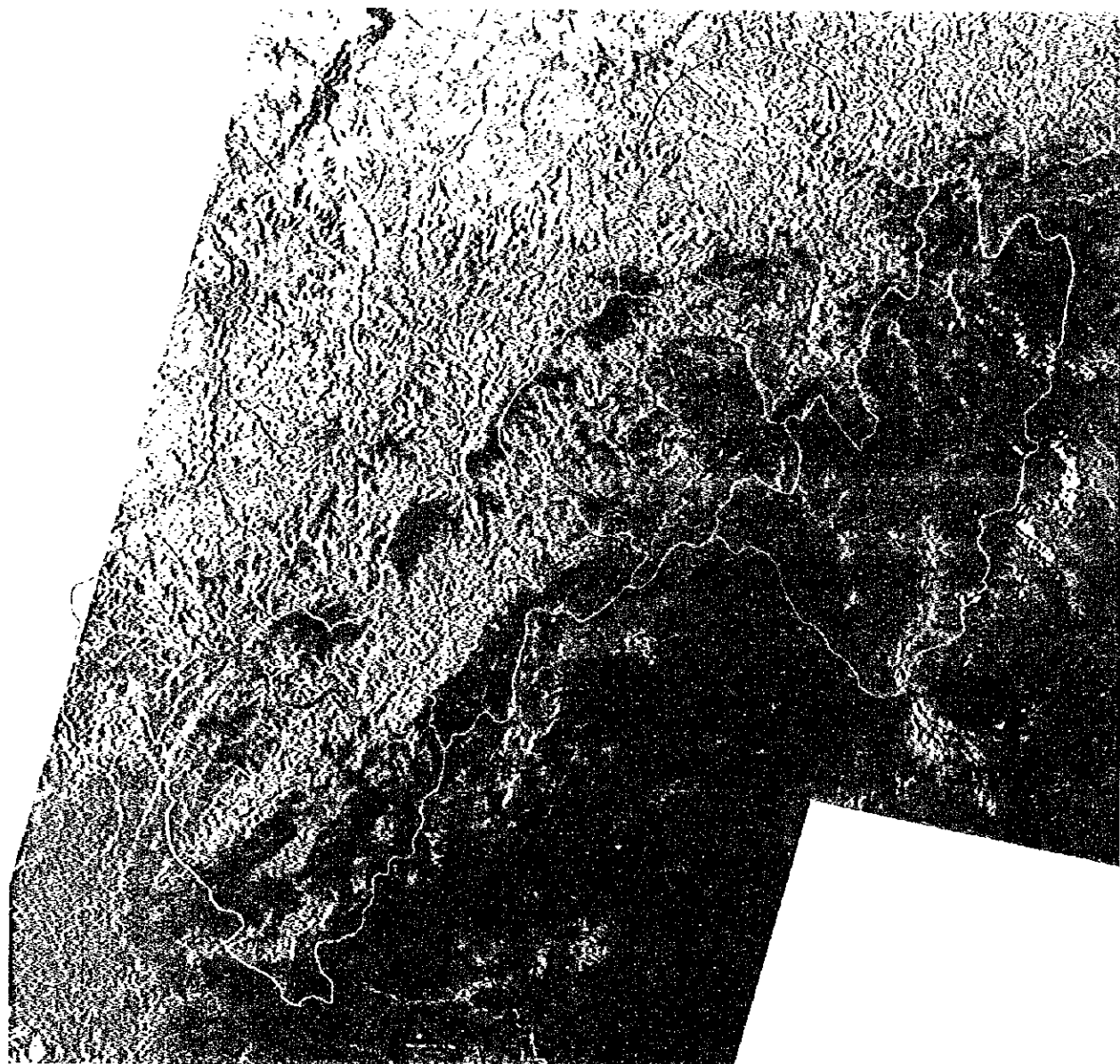
バンド	バンド	波長帯(μm)	IFOV
MSS	4	0.5 - 0.6 緑色	80m
	5	0.6 - 0.7 赤色	80m
	6	0.7 - 0.8 近赤外	80m
	7	0.8 - 1.1 近赤外	80m
TM	1	0.45 - 0.52 青色	30m
	2	0.52 - 0.60 緑色	30m
	3	0.63 - 0.69 赤色	30m
	4	0.76 - 0.90 近赤外	30m
	5	1.55 - 1.75短波長赤外	30m
	6	10.4 - 12.5 熱赤外	120m
	7	2.08 - 2.35短波長赤外	30m



凡例
～ 流域界

縮尺 1:1,600,000

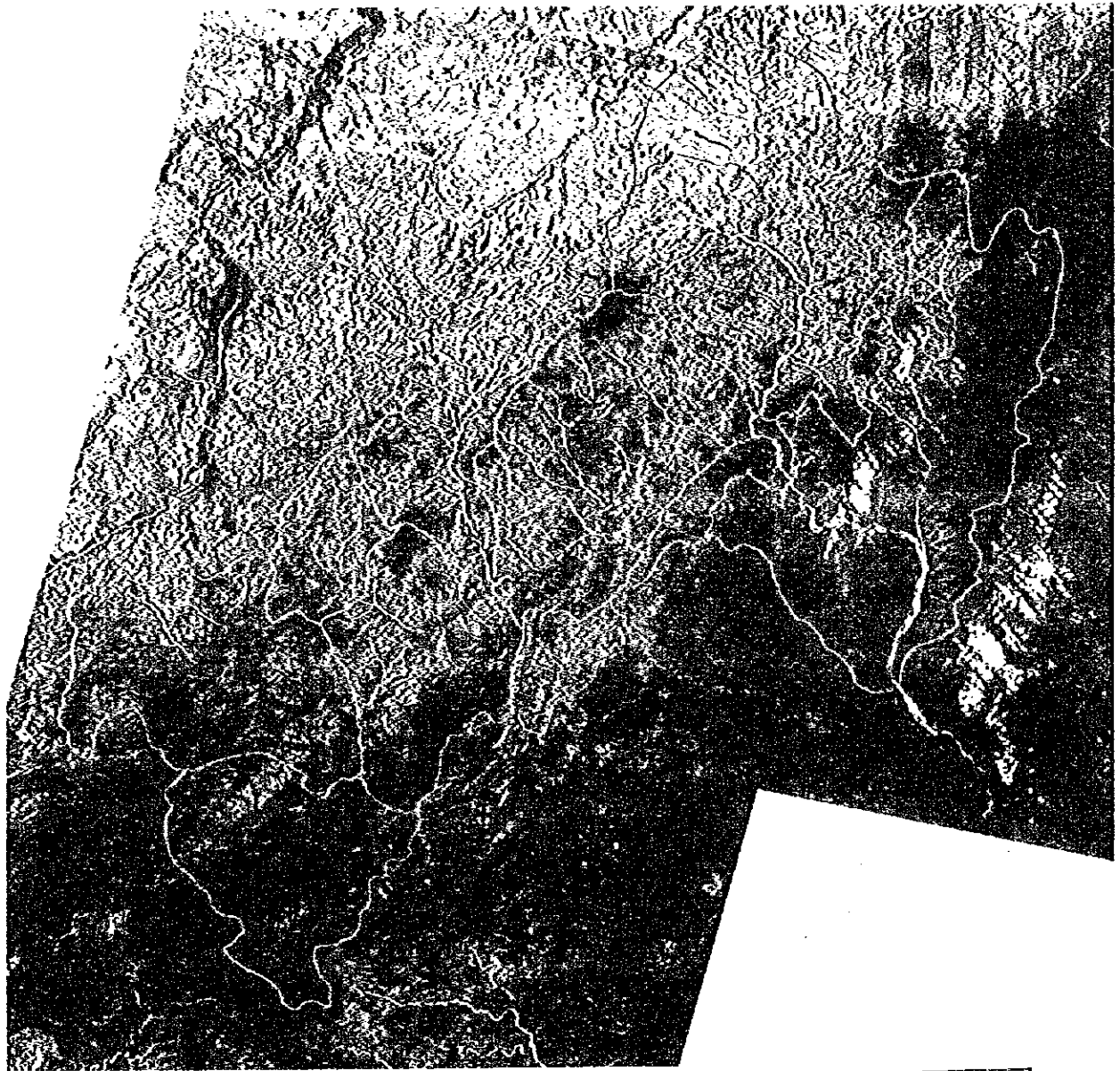
図 3.5.3.2 1975 年 9-10 月のランドサット MSS フォールスカラー画像



凡例
~ 流域界

縮尺 1:1,600,000

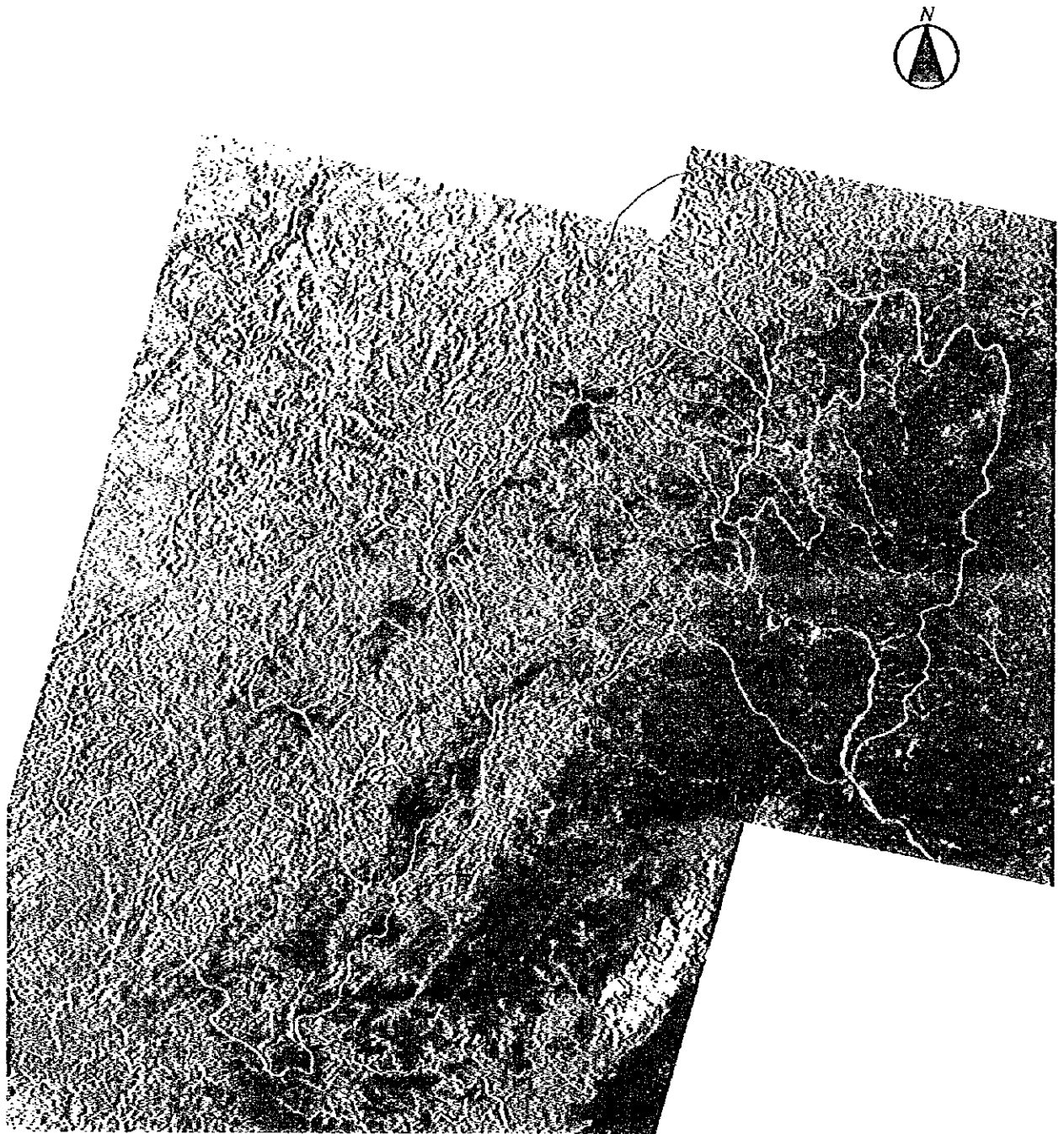
図 3.5.3.3 1984 年 5-6 月のランドサット MSS フォールスカラー画像



凡例
~ 流域界

縮尺 1:1,600,000

図 3.5.3.4 1984 年 9 月のランドサット MSS フォールスカラー画像



凡例
∧ 流域界

縮尺 1:1,600,000

図 3.5.3.5 1995 年 9 月のランドサット TM フォールスカラー画像

地理情報システム (GIS) データ作成

本調査では、リモートセンシングにより得られた対象流域における河道の土砂堆積域や土地被覆情報に、他の流域界や河川、等高線、流量観測所などの GIS データと組み合わせて空間分析し、土砂生産域の推定を行う。

GIS :

GIS は地理的な情報に関するデータの入力、処理、解析、出力を行うためのツールとして近年様々な分野で普及・進展している。GIS を利用することによる主なメリットは次のとおりである。

- ・データベース化された情報の任意の重ね合わせ処理が可能で、情報の理解が容易
- ・視覚的にきわめて説得力の高い主題図を作成可能
- ・データの更新が容易

GIS データ :

GIS で取り扱うデータは、対象とする情報の位置・形状・範囲等を示す図形データと、個々の図形要素の性質を示す属性データに分けられ、両者は図 3.5.3.6 に示すように、ID 番号によりリンクがとられる。例えば、流域の境界線は閉領域の外周ラインとして図形データに記録され、流域区分はその閉領域の ID 番号によりリンクした属性データに格納される。入力されたデータは、道路、河川、等高線、土地被覆といった情報の種類毎に個別のレイヤーとして整理される。

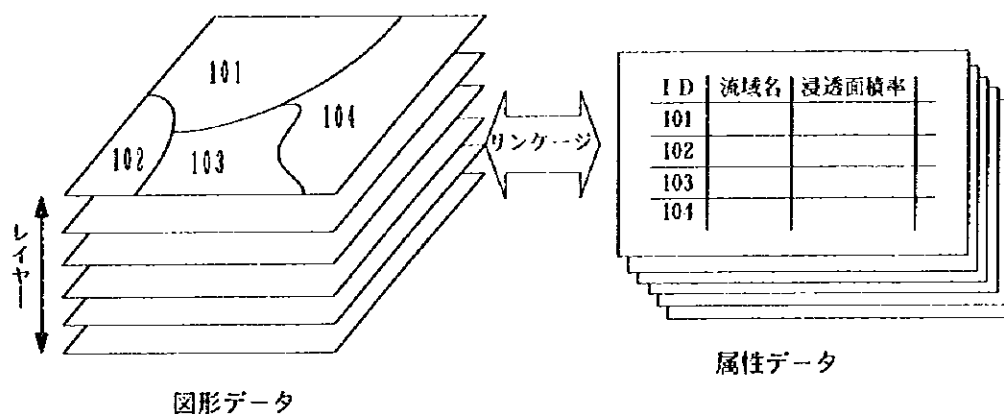


図 3.5.3.6 図形データと属性データのリンク

GISデータの作成：

本調査では、図3.5.3.7に示す手順にてGISデータを作成した。作成したGISデータとその諸元を表3.5.3.3に示す。

また、等高線をメッシュ化して作成した流域の標高データを図3.5.3.8に示す。図3.5.3.8に示すとおり、対象流域の上流部には標高300~500mの山地、丘陵地が分布している。

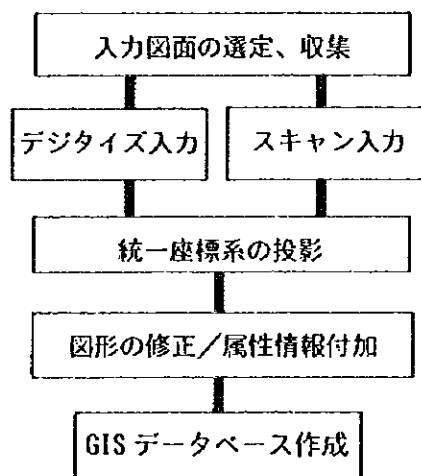


図3.5.3.7 GISデータの作成手順

表3.5.3.3 作成したGISデータリスト

GISデータ	縮尺	備考
流域界、 小流域界	1:500,000	報告書掲載の大凌河流域分割図より作成
河川	1:500,000	1:500,000 航空路図より作成
観測所位置	1:500,000	報告書掲載の観測所位置を地形図に記入し、入力
等高線	1:500,000	1:500,000 航空路図より作成、コンターピッチ 500ft

(4) 調査手順

本調査では、河道の土砂堆積状況および流域の土地被覆とその経年変化をリモートセンシングにより調査した。さらに、土地被覆と土砂流出との関連を、雨量・流量・浮遊砂量などの現地水文観測データを用いて検討し、流域内の土砂生産地の推定を行った。

本調査の手順を図3.5.3.9に示す。

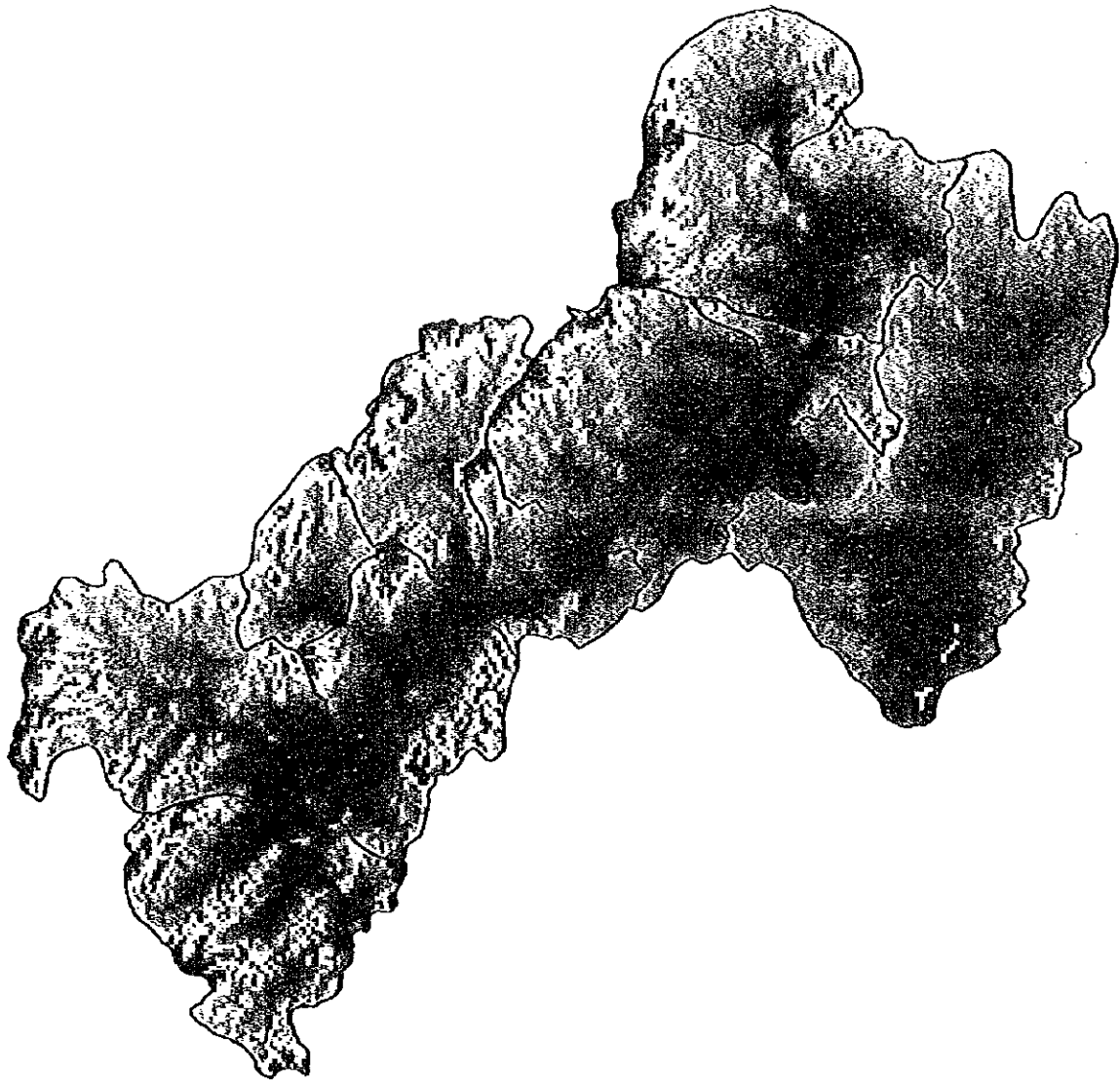


図 3.5.3.8 標高データ

データ収集と整理

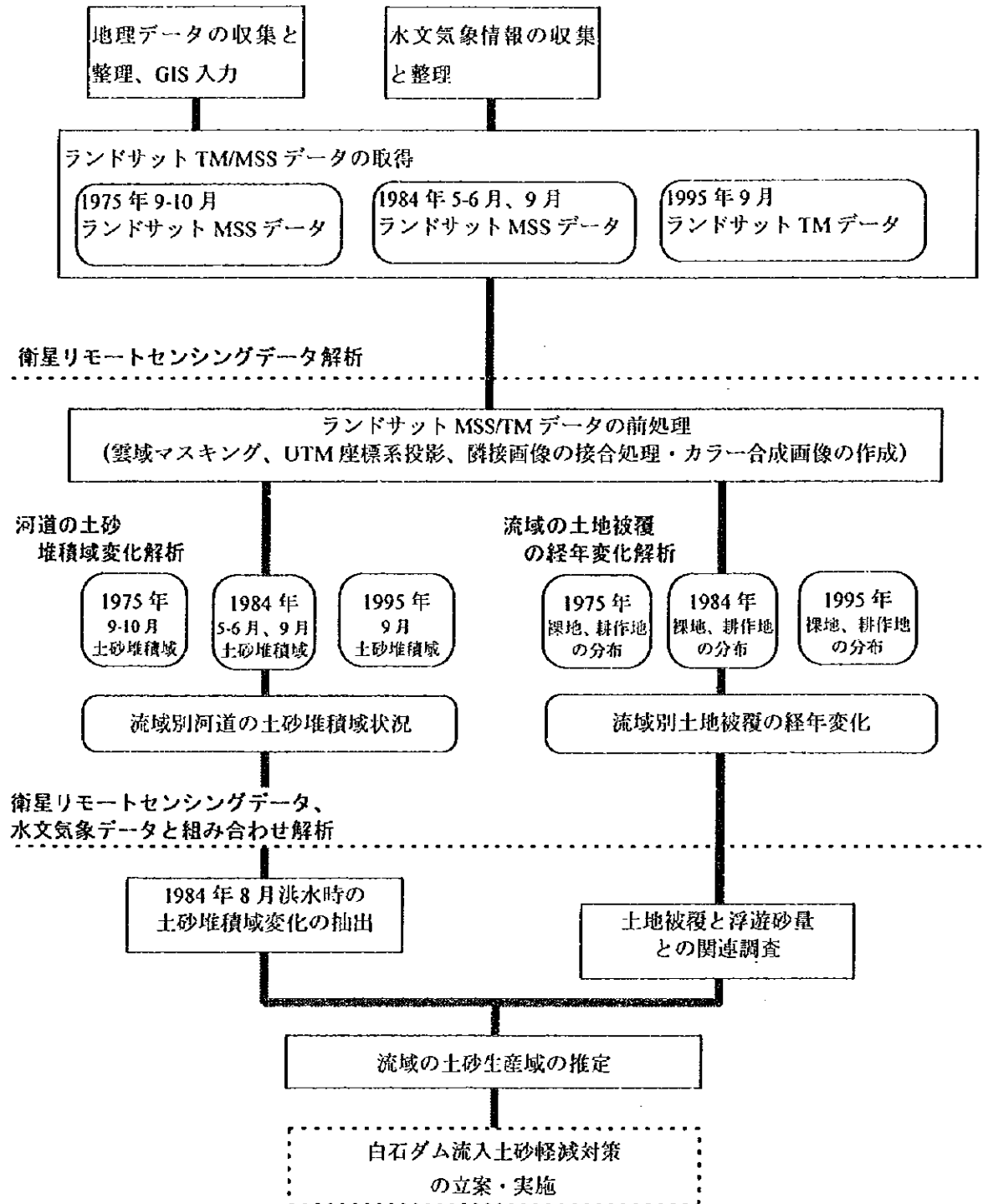


図 3.5.3.9 リモートセンシングによる土砂生産地の推定手順

3.5.3.2 河道の土砂堆積域変化解析

(1) 河道の土砂堆積域の抽出

本項では、大凌河流域における過去からの河道の土砂堆積域の変化状況を把握することを目的とし、1975年9-10月、1984年5-6月、1984年9月のランドサットMSSと1995年9月のランドサットTMを用いて、河道における土砂堆積域とその経年変化解析を行った。

河川的作用

河川的作用には侵食作用、運搬作用、堆積作用の3つがあり、自然河川ではそれらが複雑に関連しながら繰り返して発生する。一般に、河川上流部では侵食作用が、下流部では堆積作用が卓越することが知られている。

侵食作用は河川に供給される砂礫の量に対して、運搬する力が著しく大きい場合に行われるため、水量が多く、勾配が急で、流速の早い河川が比較的軟弱な地盤を流下する際に顕著となる。平常時には侵食力の弱い河川でも、洪水時には著しい侵食が発生する。

河川による砂礫などの流下形態をみると、細流の砂やシルトなどは浮遊しながら下流へと運搬され、河床に堆積する砂礫などは、細粒物質は僅かな流速により移動し始め、流速が増大するに従い粒径の大きい礫などが移動するようになる。

また、河川は運搬能力を越える量の砂礫が流下してきた場合、河床に堆積物として残すようになる。流速や水深が減少する箇所では堆積作用が発生しやすく、特に山地から平野部にでたところ、あるいは貯水池、湖、海域へ流入する地点での土砂の堆積が多く見られる。蛇行する河川では、比較的深く、流速の速い攻撃斜面には粒径の大きな礫が、流速の遅い滑走斜面側には粒径の小さなものが堆積することがよくみられ、これらの分布は運搬作用が選択的に行われている結果からくるものである。

図3.5.3.10に土砂生産、流出過程と河川作用の概念を示す。

河道の環境条件

河道の環境条件は、主に「横断勾配を有する河床形状（河道形状）」、「流れ」、「河床や堆積域の材料（砂礫など）」、「水」、「植生」の要素により構成され、しかもそれらは前述の「河川的作用」などにより時間的に変化・変動する。その変化・変動を引き起こす支配的な外的因子として「流量」が挙げられ、その作用は洪水時に最も顕著となる。このような空間には多様な水生・陸生の動植物、あるいは耕作地などの植生域などもみられ、河川固有の環境空間を形成している。

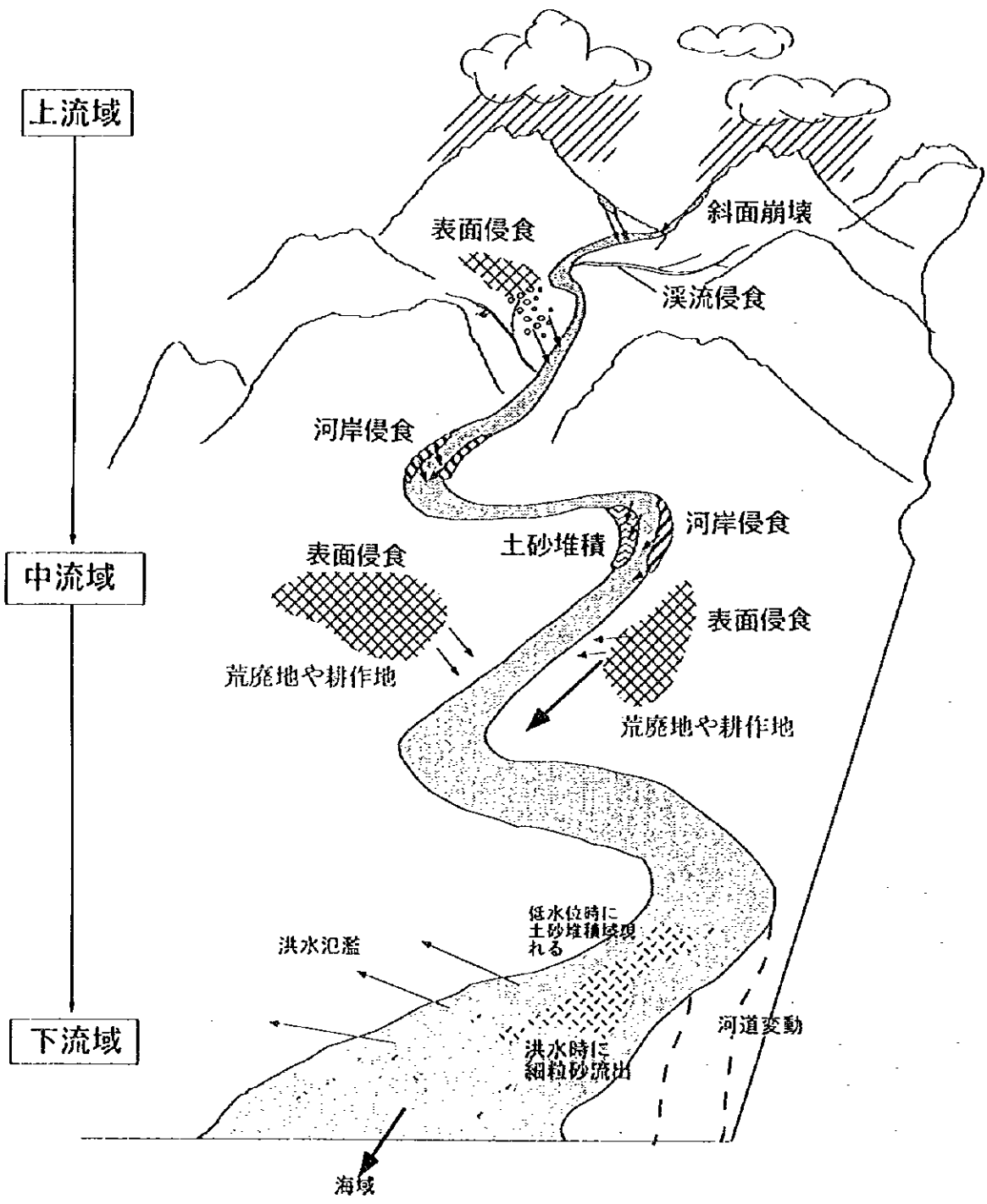


図 3. 5. 3. 10 土砂生産、流出過程と河川作用の概念

分類手法

本項では、「土砂堆積域」、「水域」、「植生」の分布域をリモートセンシングにより抽出し、その環境変化の状況を河床勾配や現地水文観測データも含めて調査・分析し、大凌河の土砂堆積状況の実態把握を行った。

土砂堆積域、植生域、水域の3項目の分光反射スペクトル特性は図3.5.3.1に示すとおりである。

植生に関しては、植物活動により可視赤外域で弱く、近赤外域で強いといった特性を持ち、この特性を指標化したNDVI（植生指標）を用いて抽出可能である。

また、土砂堆積域では観測波長の全域（可視～熱赤外域）において強い反射が見られ、逆に水域では観測波長の全域において反射が弱い特性を持たため、観測バンドの輝度の総和を用いることで抽出可能となる。

そこで、対象流域の河道を衛星画像判読により抽出して各分類項目の代表地域の観測バンドの輝度の総和およびNDVIを算出して各項目のしきい値を決定し、土砂堆積域、植生域、水域の3項目に分類した。

河道の土砂堆積域分類のフローを図3.5.3.11に示す。

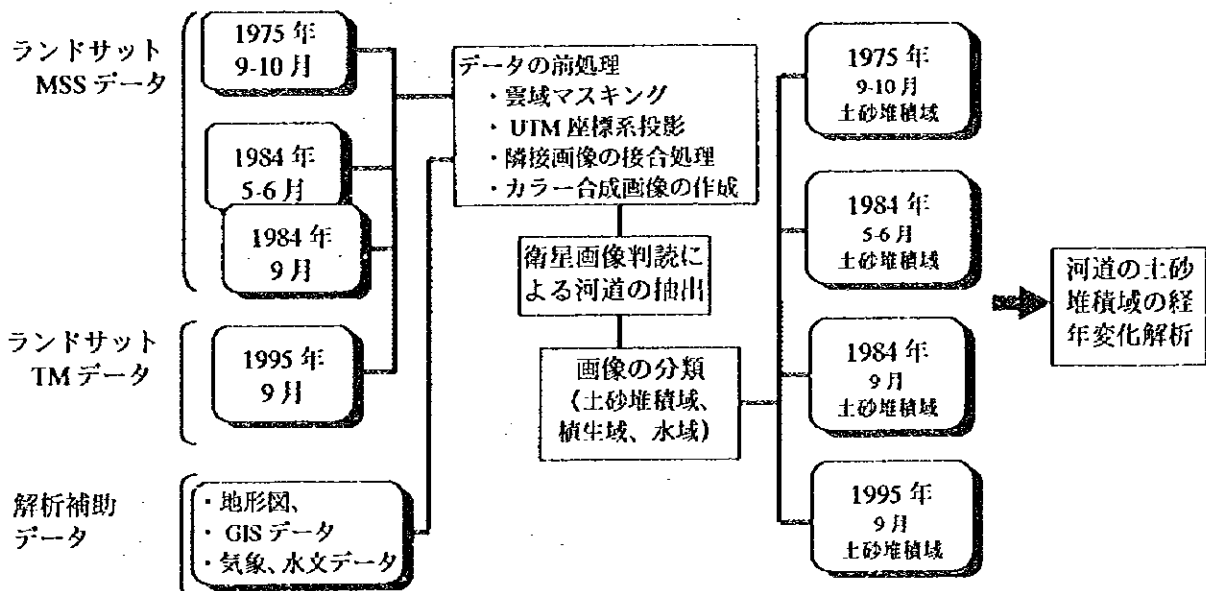


図3.5.3.11 河道の土砂堆積域分類のフロー

河道の土砂堆積域状況

リモートセンシングにより作成した1975年9-10月、1984年5-6月、1984年9月、1995年9月の河道の土砂堆積域の分布状況を図3.5.3.12～図3.5.3.15に示す。GISを用いて作成した河道の縦断形と勾配を図3.5.3.16(a)～図3.5.3.16(d)に示す。

また、図3.5.3.17に衛星画像の分類結果より算出した河道の面積と河道の土砂堆積域、植生域、水域面積の推移を示す。

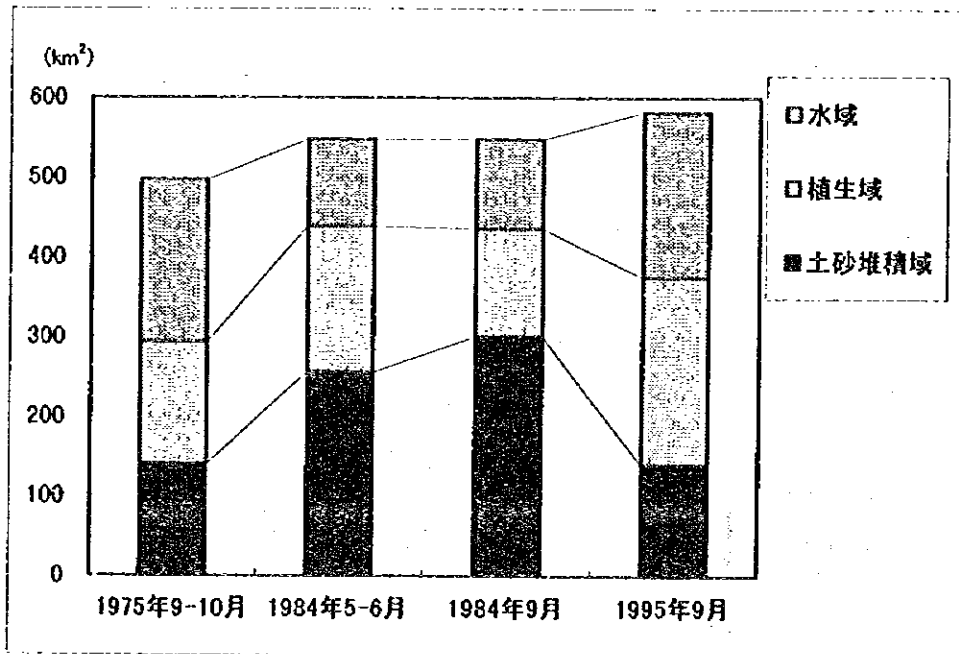


図3.5.3.17 河道の面積と河道の土砂堆積域、植生域、水域面積の推移

対象流域における河道面積の推移について1975年から1995年までの約20年間の長期的なスパンで見ると、僅かに増加する傾向を示している。1975年から1984年までに50.2km²、1984年から1995年までに34.2km²の面積増加となり、約10年間隔で30～50km²程度の一定量の面積増加を示す。したがって、年間3～5km²程度が洪水期の河岸侵食や土砂堆積などを含む河道面積の変化量であると考えられる。

また、図3.5.3.12～図3.5.3.15の各時期の土砂堆積域分布図を判読すると、河道の土砂堆積域の分布域は、ほぼ全ての時期に共通して主に河道の上流部および河道の合流点、河道の湾曲部に認められる。

土砂土砂堆積域の面積推移については図3.5.3.17に示すように、1975年から1984年5-6月までの約10年のスパンで139.9km²から255.7km²と著しい増加を示している。

1984年5-6月から1984年9月までの土砂堆積域の推移については、1984年8月発生 of 洪水の影響を受け、僅か4カ月間で44.6km²の面積増加を示している。また、洪水直後の1984年9月から1995年までに、300.3km²から139.5km²と160.8km²の面積減少を示している。

植生域に関しては洪水直後の1984年9月を除くと、1975年～1984年まで、1984年5-6月から1995年9月までの2時期の約10年スパンで30～50km²程度の面積増加が見られる。よって、洪水期の河道環境の変化・変動を含め、年間3～5km²が対象流域の植生域変化量あると考えることができる。

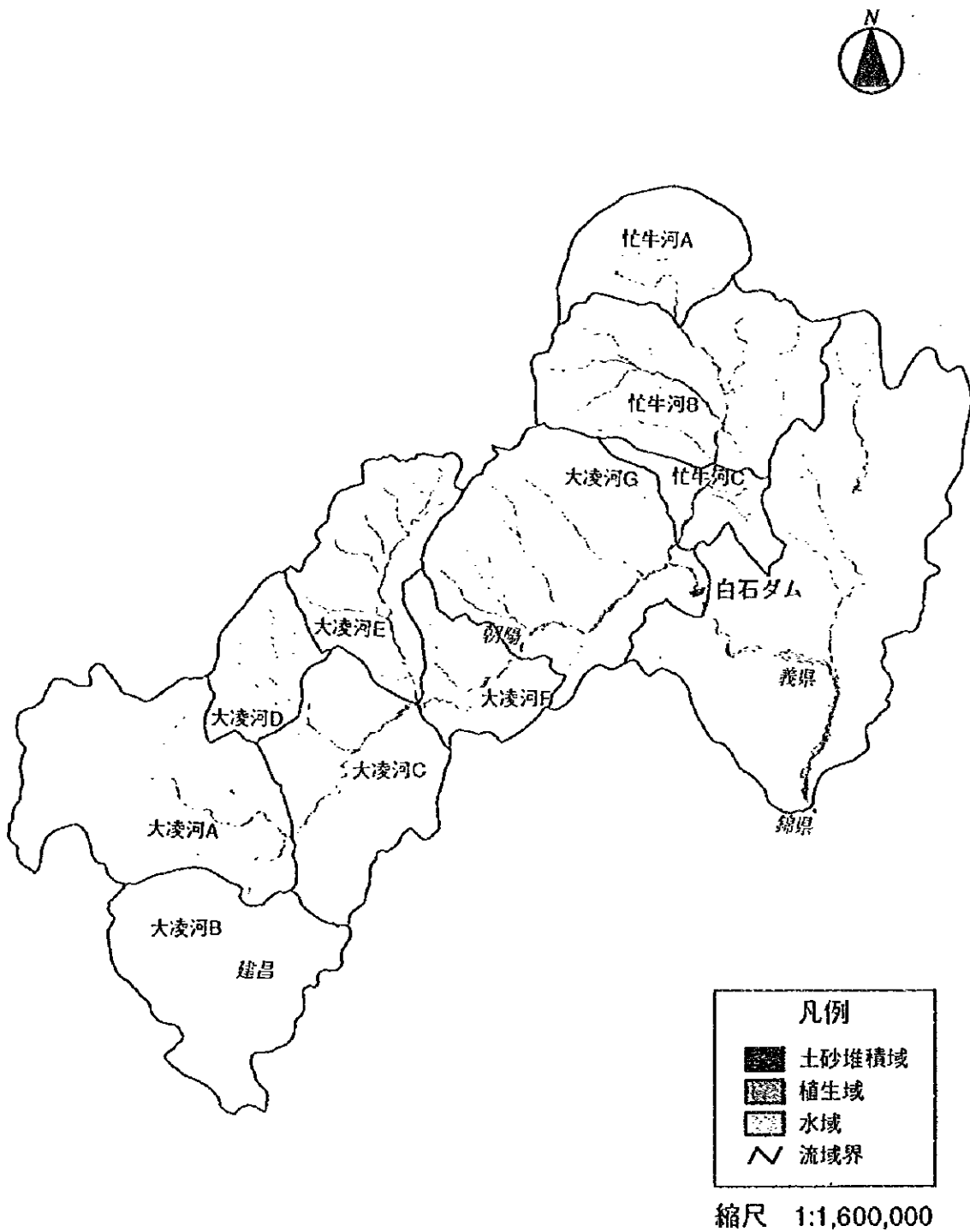


図 3.5.3.12 1975 年 9-10 月の河道の土砂堆積域分布

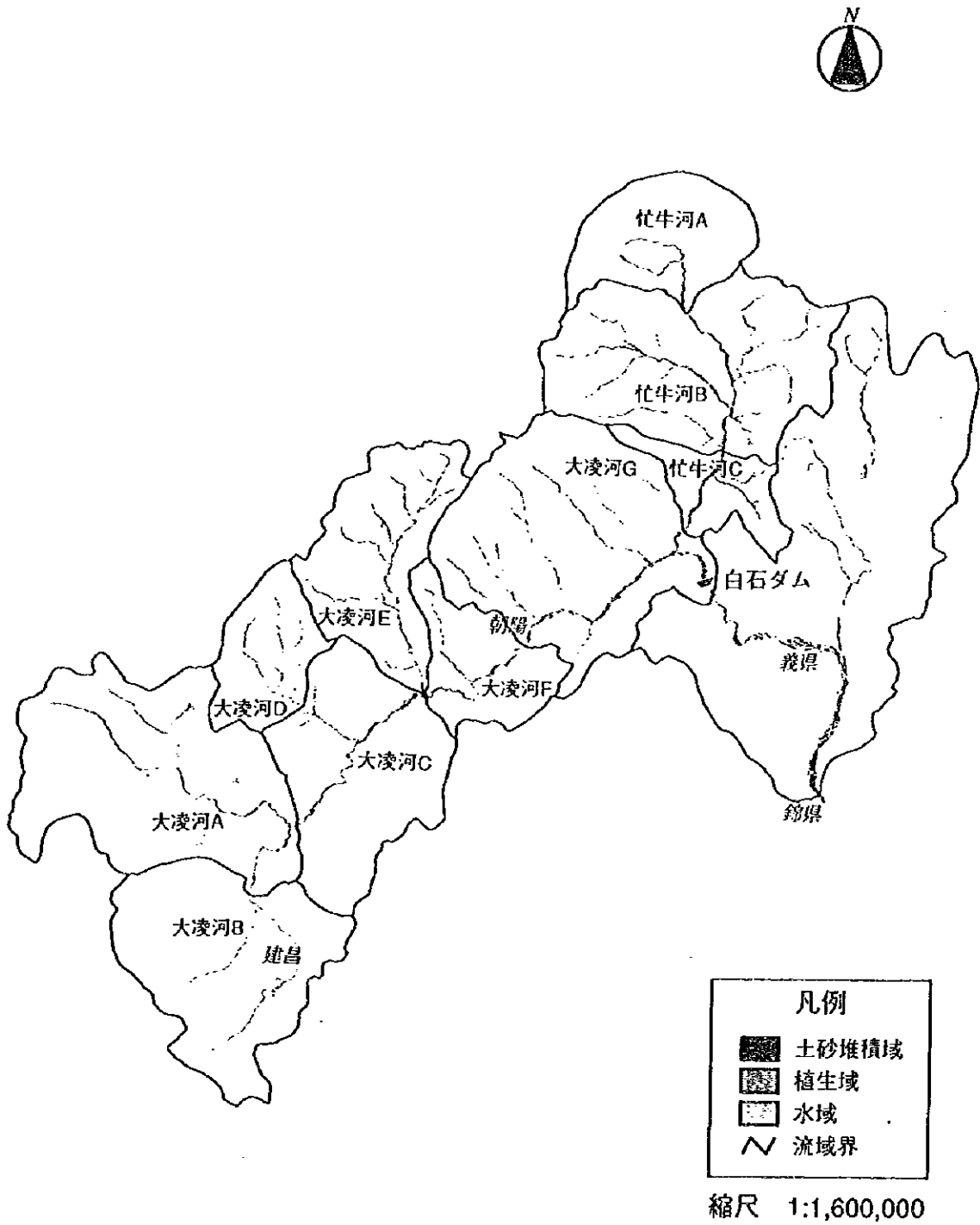


図 3. 5. 3. 13 1984 年 5-6 月の河道の土砂堆積域分布

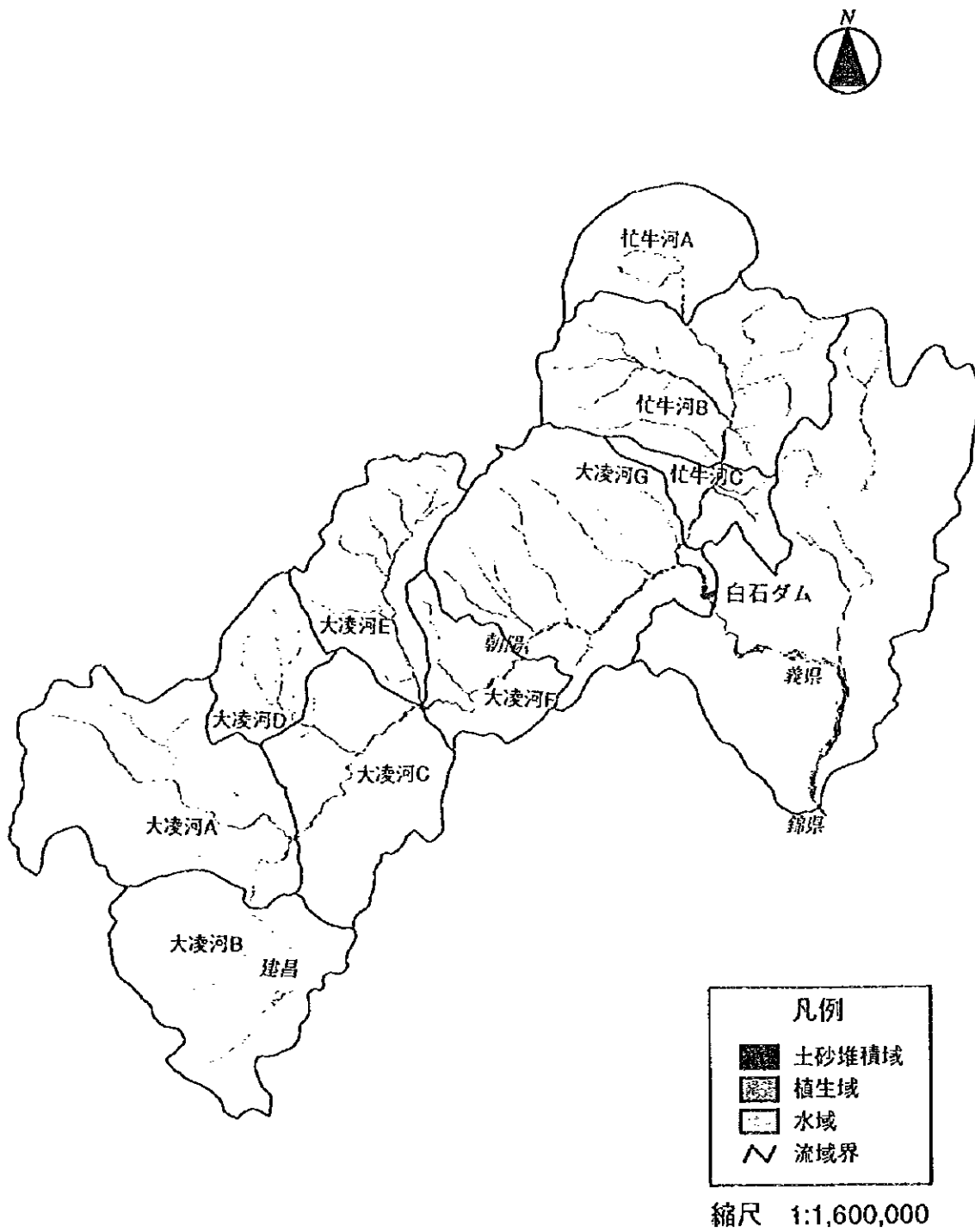


図 3.5.3.14 1984 年 9 月の河道の土砂堆積域分布

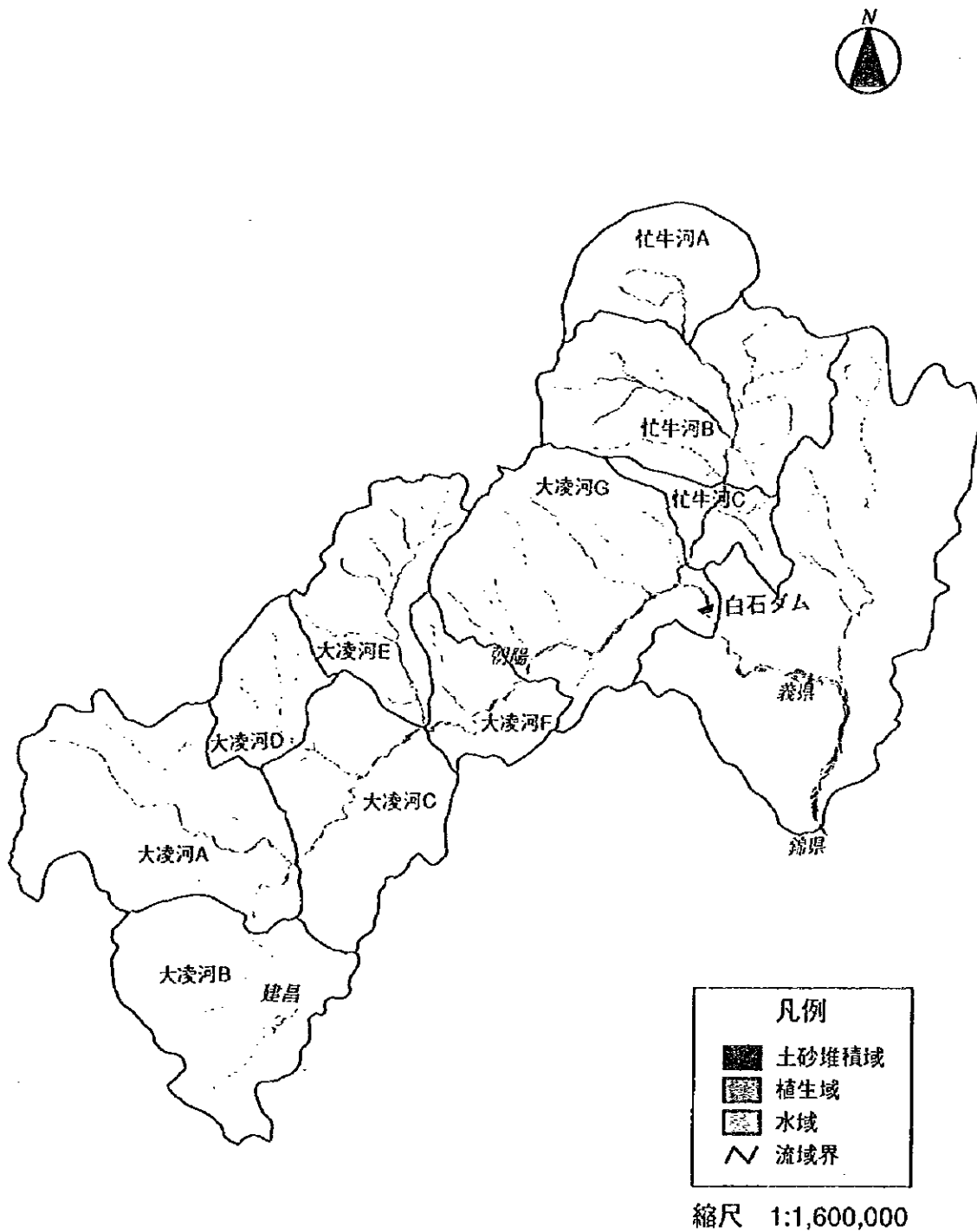


図 3. 5. 3. 15 1995 年 9 月の河道の土砂堆積域分布

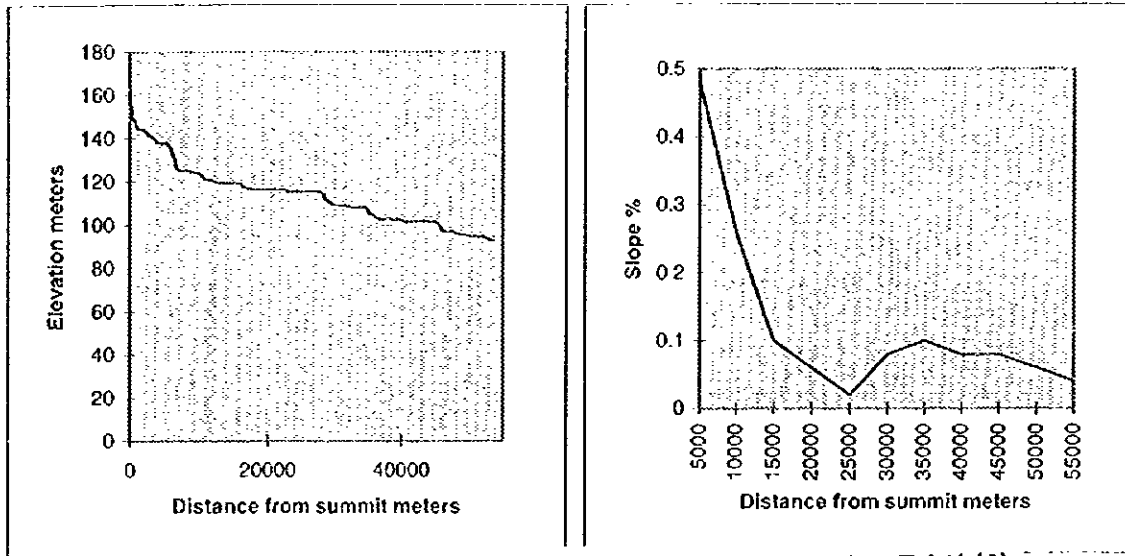


図 3. 5. 3. 16 (a) 河道の縦断形と勾配 (大凌河 B 流域の大凌河南西部の最上流部)

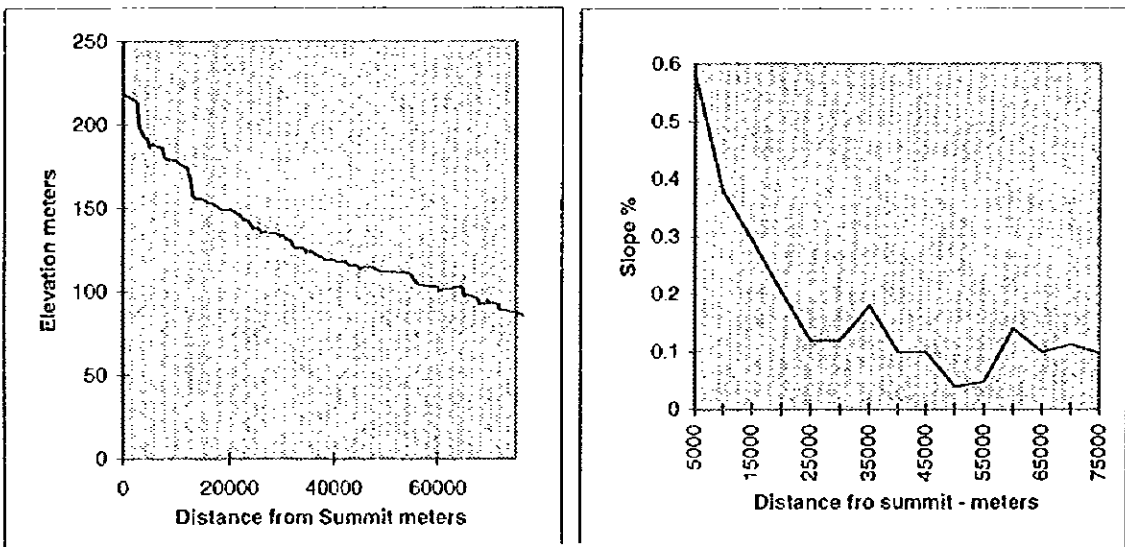


図 3. 5. 3. 16 (b) 河道の縦断形と勾配 (大凌河 A 流域の大凌河西部の最上流部)

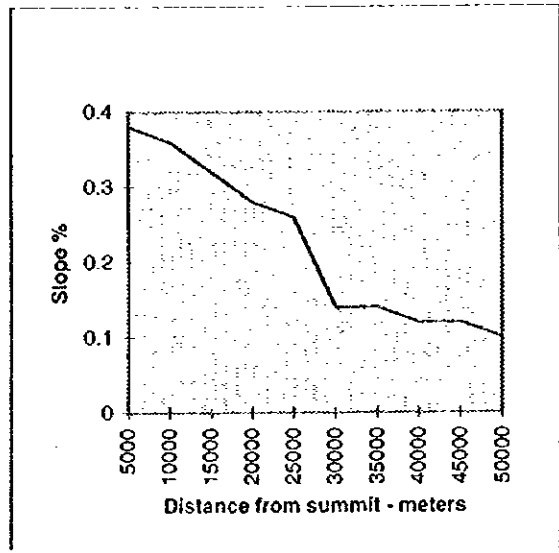
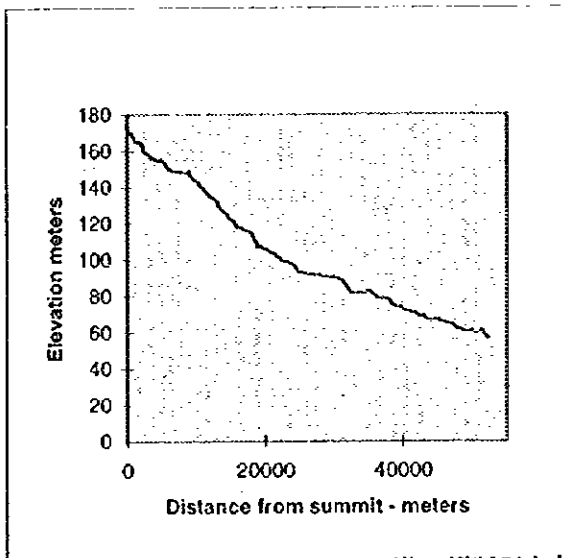


図 3. 5. 3. 16(c) 河道の縦断形と勾配 (忙牛河 B 流域の右岸側支流)

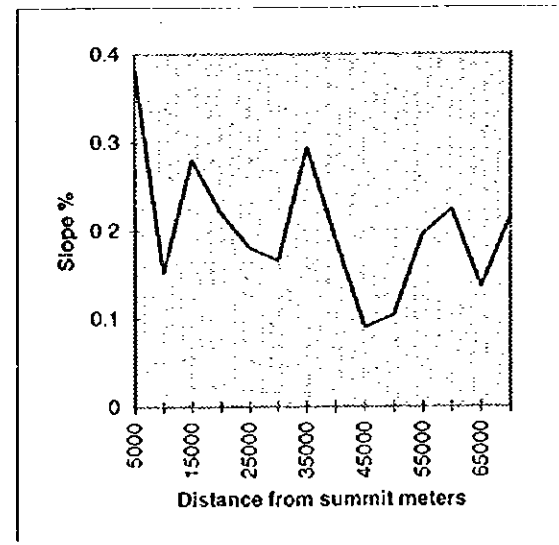
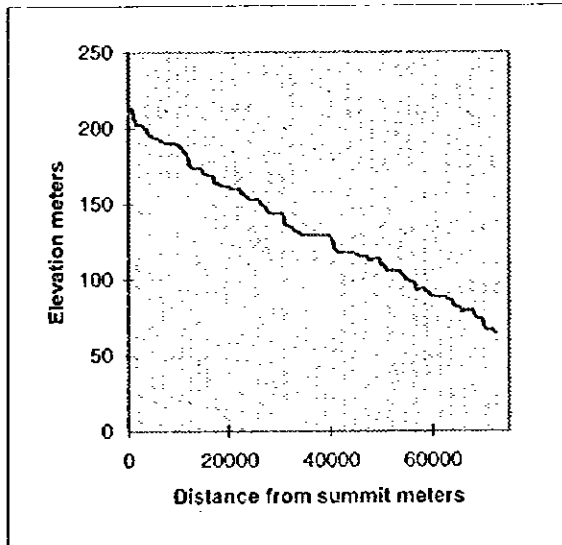


図 3. 5. 3. 16(d) 河道の縦断形と勾配 (大凌河 E 流域の老虎山河)

(2) 流域別河道の土砂堆積域状況

河道の土砂堆積や侵食形態は、河床の特徴や流量、各流域の土砂生産量によって大きく左右される。ここでは、解析対象とする10流域毎に河道の面積および土砂堆積域、植生域、水域の面積変化を算出して、河道形状、河道の土砂堆積域、河道の植生被覆状況より各流域の土砂堆積状況の把握を行う。

表3.5.3.4に流域別河道の土砂堆積域面積変化を示す。

大凌河A流域 - 流域面積 2,995km²

本流域は大凌河の西側の最上流部に位置し、河床の勾配は上流から25km地点まで0.6~0.2%と次第に低下し、下流部では0.2~0.05%程度と緩やかになる。

土砂堆積域の分布状況を見ると、最上流地点より下流側約30kmまでの河道では1984年5-6月、1984年9月に土砂堆積域が明確に認められる。

大凌河B流域 - 流域面積 2,299km²

本流域は大凌河の南西側の最上流部にあり、河床勾配は上流部から15kmの地点まで0.5~0.1%と変化し、下流部では0.03~0.1%と緩やかである。

土砂堆積域をみると最大で2.3km²と少なく、河道には植生域が多く分布している。

なお、1995年9-10月については衛星画像の判読の結果、河道の幅が狭く、しかも河道の連続的な分布がみられなかったため、検討に含めていない。

大凌河C流域 - 流域面積 2,028km²

本流域は大凌河の白石ダムサイトより上流約100kmに位置する。河床勾配は比較的緩やかで平地流れる。

土砂堆積域は洪水直後の1984年9月で最大21km²を示し、その分布域は大凌河本流の河道の湾曲部および大凌河本流と老虎山河との合流地点より上流側約10kmまでの区間、大凌河D流域を流下する支流の河道に多く認められる。

大凌河D流域 - 流域面積 848km²

本流域は大凌河C流域の左岸側支流の上流部に位置し、河床勾配は比較的急勾配である。

土砂堆積状況を見ると全ての時期について分布が認められ、洪水直後の1984年9月に最大14.7km²と河道の70%を占めている。

表 3.5.3.4 流域別河道の土砂堆積域面積変化(km²)

流域	項目	1975年9-10月	1984年5-6月	1984年9月	1995年9月
大凌河A	河道の面積	45.7	64.4	64.4	64.5
	土砂堆積域	1.6	21.5	18.4	5.0
	植生域	27.6	31.3	35.9	34.3
	水域	16.5	11.7	10.1	25.2
大凌河B	河道の面積	0.0	31.6	31.6	31.6
	土砂堆積域	0.0	2.1	2.3	0.6
	植生域	0.0	21.8	13.6	10.5
	水域	0.0	7.6	15.7	20.5
大凌河C	河道の面積	47.4	47.4	47.4	47.2
	土砂堆積域	5.0	19.5	21.0	8.1
	植生域	21.7	19.3	16.7	17.8
	水域	20.7	8.6	9.8	21.4
大凌河D	河道の面積	20.5	20.5	20.5	20.6
	土砂堆積域	5.7	12.9	14.7	4.9
	植生域	4.2	5.6	5.4	6.2
	水域	10.7	2.0	0.5	9.5
大凌河E	河道の面積	57.6	57.6	57.6	57.8
	土砂堆積域	32.1	36.5	43.1	27.0
	植生域	12.5	12.0	13.5	16.9
	水域	13.0	9.1	1.0	13.9
大凌河F	河道の面積	36.2	36.2	36.2	36.0
	土砂堆積域	3.6	14.4	16.8	7.3
	植生域	13.2	11.2	11.9	16.7
	水域	19.3	10.6	7.5	12.0
大凌河G	河道の面積	130.1	130.1	130.1	137.6
	土砂堆積域	29.3	45.5	73.8	23.3
	植生域	38.3	39.7	23.5	63.7
	水域	62.5	45.0	32.7	50.6
忙牛河A	河道の面積	21.0	21.0	21.0	23.7
	土砂堆積域	4.7	13.8	9.2	8.2
	植生域	5.6	5.0	3.8	8.6
	水域	10.7	2.2	7.9	6.9
忙牛河B	河道の面積	108.1	108.1	108.1	127.2
	土砂堆積域	44.7	67.1	79.7	45.6
	植生域	24.5	31.3	8.6	46.7
	水域	38.9	9.7	19.8	34.9
忙牛河C	河道の面積	30.7	30.7	30.7	35.5
	土砂堆積域	13.1	22.2	21.4	9.5
	植生域	6.2	5.7	2.4	13.7
	水域	11.4	2.7	6.8	12.3

大凌河E流域 - 流域面積 1,574km²

本流域は大凌河支流の老虎山河流域であり、老虎山河の上流部と下流部の標高差が約150m、河床勾配は平均で0.2%前後と比較的急勾配である。

河道には全ての時期について土砂堆積域が多く分布しており、27~43.1km²と河道面積の47~75%を占めている。

大凌河F流域 - 流域面積 927km²

本流域は大凌河の朝陽より上流側に位置し、河道は平地を流れるため河床勾配は比較的緩やかである。

支流では全ての時期について河道に土砂堆積域が認められる。

大凌河本流では1984年5-6月と1984年9月に老虎山河と合流する上流部付近で砂堆積域の分布が判読できる。また、洪水直後の1984年9月を除くと下流部では植生域の分布が認められる。

大凌河G流域 - 流域面積 3,095km²

本流域は大凌河本流の白石ダムサイトから朝陽までの流域であり、一部忙牛河を含む。流域には複数の支流があり、河床勾配をみると各支流については比較的急勾配、大凌河本流は平地を流れる緩勾配である。

河道の土砂堆積域をみると、洪水直後の1984年9月では73.8km²と河道の57%を占めている。

大凌河本流では、洪水直後の1984年9月を除くと、支流との合流地点や河道の湾曲部、白石ダムサイト付近に土砂堆積域が認められ、その他の地域には植生域が多く見られる。また、支流については、全ての時期で土砂堆積域の分布が判読できる。

忙牛河A流域 - 流域面積 1,176km²

本流域は忙牛河の上流部にあり、本流は比較的河床勾配が緩やかで、本流兩岸の各支流は上流部で0.2~0.4%前後と比較的急勾配である。

土砂堆積域は全ての時期に共通して下流側で多く判読できる。1984年5-6月では13.8km²を示し、同年9月の洪水直後には9.2km²と減少している。

忙牛河B流域 - 流域面積 2,704km²

本流域は忙牛河の中流部にあり、本流の河床勾配は比較的勾配が緩やかで、兩岸の各支流の上流部は0.2~0.4%前後と比較的急勾配である。

土砂堆積域の分布状況を見ると、全ての時期について忙牛河本流の右岸側の支流および忙牛河本流の下流部において認められる。また、洪水直後の1984年9月では土砂堆積域が79.7km²と対象流域中で最大で、河道の74%を占めている。

忙牛河C流域 - 流域面積620km²

本流域は忙牛河の下流部にあり、河床勾配は緩やかである。

忙牛河本流では、全ての時期について土砂堆積域の分布が判読できる。忙牛河左岸側の支流については、1984年5-6月および1984年9月に土砂堆積域の分布が判読でき、他の1975年と1995年では土砂堆積域がほとんど認められない。

以上の各流域での土砂堆積状況の特徴を整理したが、次に河道の土砂堆積域について流域間での比較検討を行う。図3.5.3.18に1995年9月の大凌河流域別河道の土砂堆積域面積を、図3.5.3.19に1995年9月の忙牛河流域別河道の土砂堆積域面積を示す。

1995年9月の河道の土砂堆積域面積を流域間で比較した場合、対象流域中で土砂堆積域面積の多い流域は忙牛河Bで45.6km²、大凌河Eで27.0km²、大凌河Gで23.3km²となり、これらの3流域で対象とする全河道の69%を占める。他の1975年、1984年についても同様に、これらの流域で全河道の58~76%を占めている。このように、忙牛河B、大凌河E、大凌河G流域の河道では常に土砂堆積域が広く分布する傾向を示していることから、流域内に土砂生産域が広範囲に分布する荒廃化の進行した流域であると考えられる。

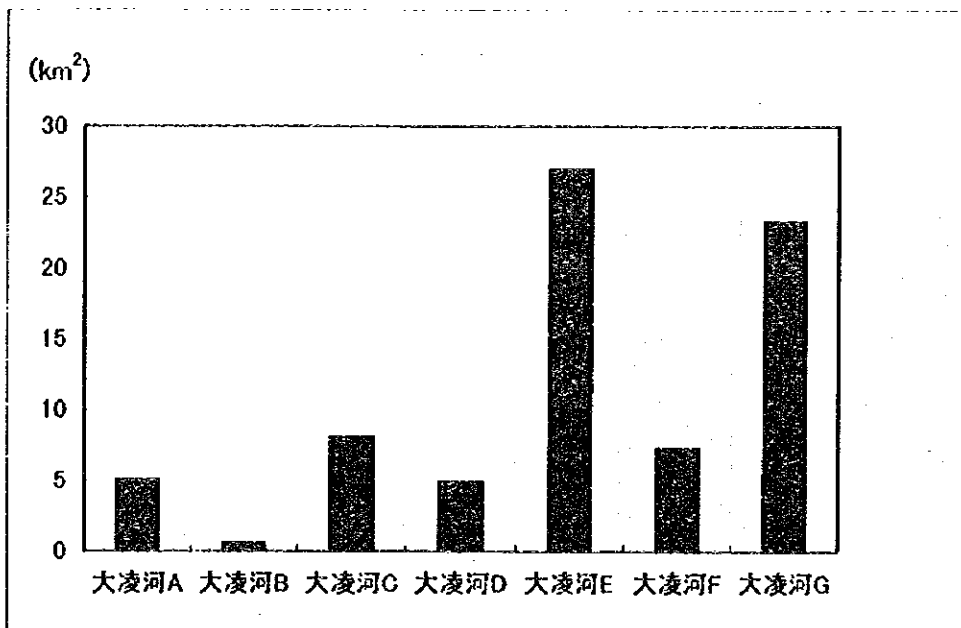


図3. 5. 3. 18 1995年9月の大凌河流域別河道の土砂堆積域面積

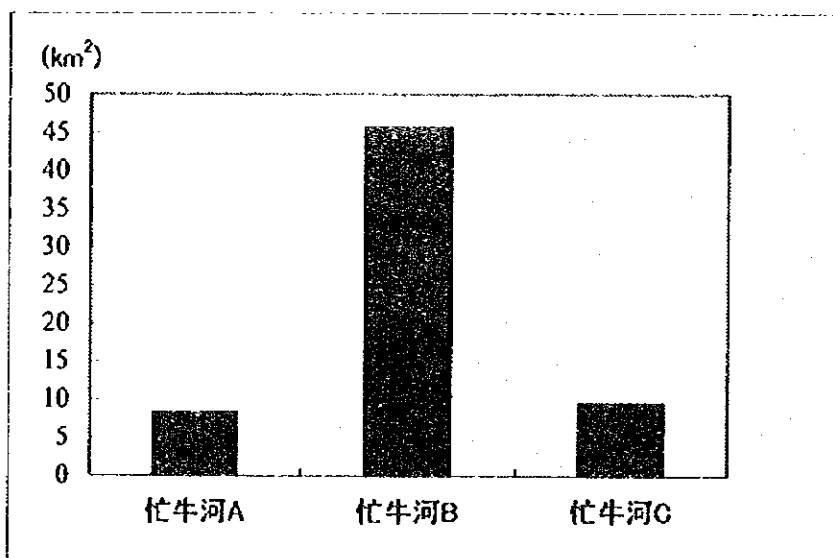


図3. 5. 3. 19 1995年9月の忙牛河流域別河道の土砂堆積域面積