

3.1.7 植生および植林の現況

(1) 植生現況

1) カニェテ、チンチャ、ピスコ、ヤウカ流域

ペルーの植生分布調査として、最新のものは 2005 年に FAO が主体となって INRENA の協力を得て実施した調査があるが、これは 1995 年 INRENA¹（農業省天然資源院）森林総局により作成された「1995 年植生区分図」及びその解説が基礎データとなっている。また、1970 年代には国立計画局 (Instituto Nacional de Planificacion)、国立天然資源評価局 (ONERN: Oficina Nacional de Evaluacion de Recursos Naturales) によって「海岸地域の天然資源評価と合理的利用目録」が作成され、海岸地域の自然特性区分と植生が解説されている。

1995 年植生区分図とその解説によれば、カニェテ、チンチャ、ピスコ、ヤウカ流域は海岸からアンデス高地に至るが、おおむね標高によって植生分布が特徴づけられている。海岸から標高約 2,500m 付近 (Cu、Dc) までは非常に植生が乏しく、河川沿いを除く場所では草本・サボテンが主体か植生がほとんどない区域が代表的で、やや標高の高いところでも灌木が点在する程度である。標高 2,500m から 3,500m 付近までは降雨条件がよいため灌木林が形成されるが、それ以上の標高では低温のため植生は育ちにくく、草本が主体の区域となっている。また、灌木がある区域でも樹高は最大でも 4m 程度となっている。ただし、砂漠地帯であっても河川沿いには高木となる木本植物が成立している。

表-3.1.7-1 カニェテ、チンチャ、ピスコ、ヤウカの代表的植生一覧

区分	名称	分布する標高	降雨量	代表的な植生
1)Cu	沿岸部の農地	沿岸部	ほとんどゼロ	河川沿いに広がる農地
2)Dc	沿岸部の砂漠	0~1,500m	ほとんどゼロ、霧出現箇所あり	ほとんどなく、霧の発生場所に草本がある程度
3)Ms	乾燥草本・灌木帯	1,500~3,900m	120~220mm	サボテン類、草本
4)Msh	半湿潤灌木・草本帯	北中部 2,900~3,500m アンデス山間 2,000~3,700m	220~1,000mm	常緑、4mを超えない低木
5)Mh	湿潤草本・灌木帯	北部 2,500~3,400m 南部 3,000~3,900m	500~2,000mm	常緑、4m以下
6)Cp	アンデス高地の牧草地	3,800m付近	(記述なし)	イネ科の草本
7)Pj	草原	3,200~3,300m 中南部 3,800mまで	南部寡雨地帯で 125mm 下 東斜面では 4,000mm 超	イネ科の草本
8)N	雪山		—	—

出典：1995 年植生区分図を元に JICA 調査団により作成

2) マヘス - カマナ流域

「1995 年植生区分図」によれば、カマナ・マヘス流域の植生分布は、上記 1) の 4 流域とほぼ同様である。上記 4 流域とカマナ・マヘス流域の代表的植生の違いは次の 3 点である。i) Cu (沿岸部の農地) がない、ii) Lo (ロマス) がある、iii) Bf (湿性草原) がある。

¹ INRENA は解散され、現在は森林・野生動物総局 (Direction General Forestal Y de Fauna Silvestra) がその機能を担っている。

カマナ・マヘス流域には存在するが(a)の4流域にない植生区分の説明は以下のとおりである。同流域の植生図を図-3.1.7-5に添付した。

(i) Lo : (ロマス)

分布域の標高は海拔 0m から 1,000m。ペルーの沿岸部の砂漠からチリまで南北の海岸線に沿って分布している。冬(5月~9月)海から来る霧が発生し、この特異な植生帯を出現させる。主に見られる植生はアナナス科の *Tillandsia* spp、*tara* (*Caesalpinia spinosa*)、ヒガンバナ科ヒメノカリス属 (*Ismene amancae*)、サボテン科の(*Haageocereus* spp.)、カタバミ科 (*Oxalis* spp.)、ナス科 (*Solanum* spp.)などである。なお、沿岸部の砂漠の面積は国土の11%、南北2,000kmに及び、面積は14,000km²であるが、ロマスの面積を示す資料は今回の調査では見つからなかった。

(ii)Bf : (湿性草原)

分布域の標高は 3,900m から 4,800m、地形はほぼ平らであるがわずかな窪みとなっていることもある。氷河と湧水からの表面水が出ており、地下水位が高いので、表面水が地面に浸透せずにいる。このため、草原が常に湿っている。主な植生は以下のとおり。*champa* (*Distichia muscoides*)、*sillu-sillu* (*Alchemilla pinnata*)、*libro-libro* (*Alchemilla diplophylla*)、*chillihua* (*Festuca dolichophylla*)、*crepillos* (*Calamagrostis curvula*)、*tajlla* (*Lilecopsis andina*)、*sora* (*Calamagrostis eminens*)、*ojho pilli* (*Hipochaeris stenocephala*)など。これらの草本は高さが低く、南米に生息しているラクダ科(リヤマ、アルパカ、ビクーニャとグアナコ)の食用にされることが多い。

3) チラ流域

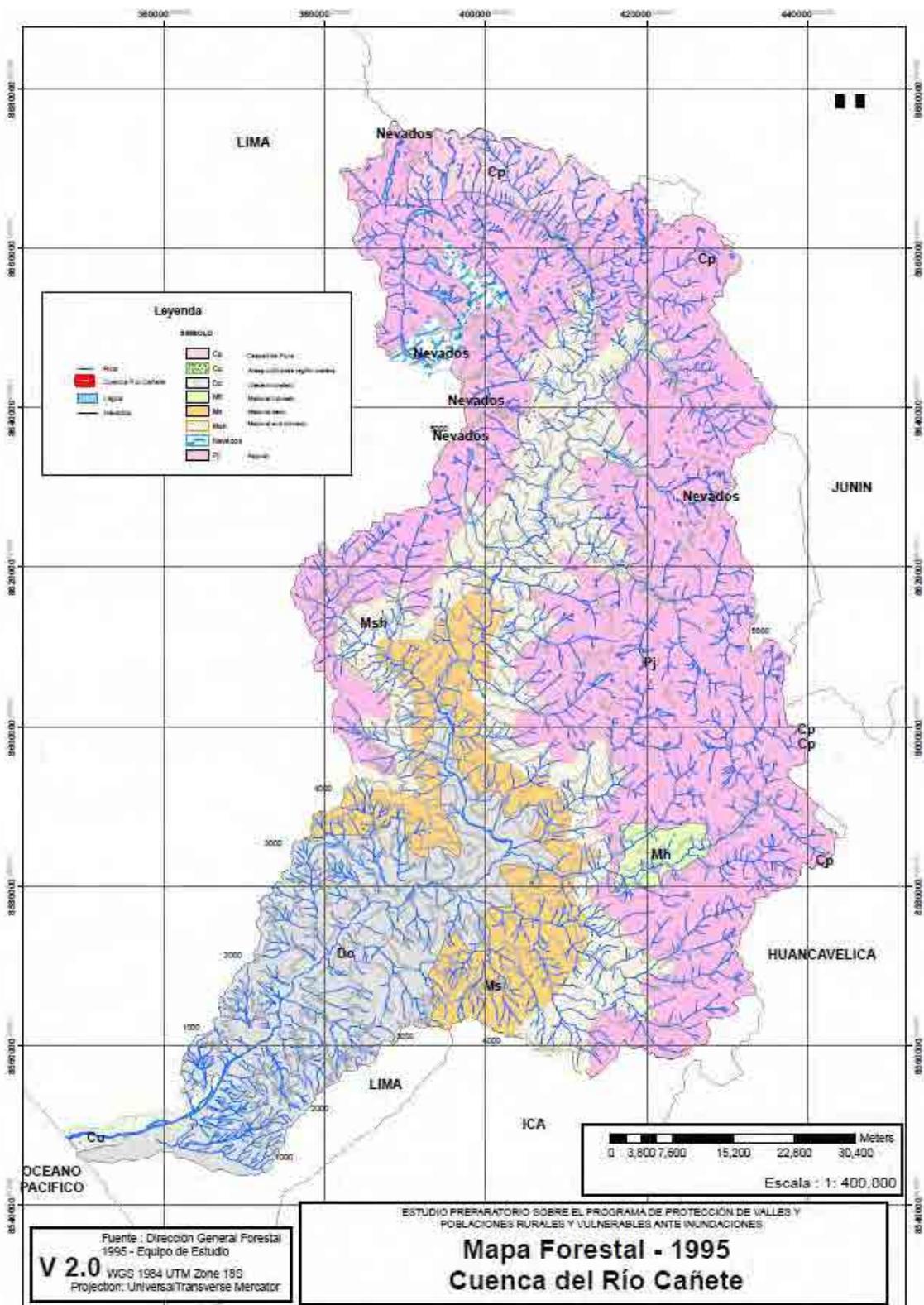
1995年植生区分図とその解説によれば、チラ流域は他の4流域とは異なり、乾燥林が多勢を占めている。流域内の乾燥林としては i)サバンナ性乾燥林 (Bs sa)、ii)台地性乾燥林 (Bs co)、iii)山岳性乾燥林 (Bs mo) の3種があり、標高によって特徴付けられている。(表-3.1.7-2参照)。サバンナ乾燥林の主要構成樹種はアルガロボ (*Prosopis pallida*) で、アルガロボ林では高木、灌木が混生する。台地性乾燥林と山岳性乾燥林を構成する樹種はほとんど同じで、樹高12m程度の落葉樹が多い。また、河川沿いなどでは地下水位が高いため、直径10cm以上の常緑樹も生育している。乾燥林は厳しい自然条件下にあるため、いったん破壊されると自然回復は困難である。山岳性湿润林は樹種が豊富だが樹高は10m以下のものがほとんどである。

表-3.1.7-2 チラ流域の代表的植生一覧

区分	名称	分布する標高	降雨量	代表的な植生
1)Bs sa	サバンナ型乾燥林	0~500m	160~240mm	アルガロボ林(常緑樹)、高標高では落葉樹、灌木・サボテンもある
2)Bs co	台地性乾燥林	400~700m	230~1,000mm	山岳性乾燥林とほぼ同様
3)Bs mo	山岳性乾燥林	500~1,200m	230~1,000mm	落葉樹を主体とし、12m程度の高木林を形成する
4)Bh mo	山岳性湿润林	アマゾン高地からペルー北部までは3,200mまで ペルー中南部ではアンデス東斜面の3,800mまで	霧が発生することが多く、雲霧林もある	樹高10m程度の高木層、2~4mのヤシ類など、草本類など豊富

このほか、前出の沿岸の砂漠地帯 (Dc、Cu)、半湿润灌木林 (Msh)、湿润灌木林 (Mh) がある。

出典：1995年植生区分図を元に JICA 調査団により作成



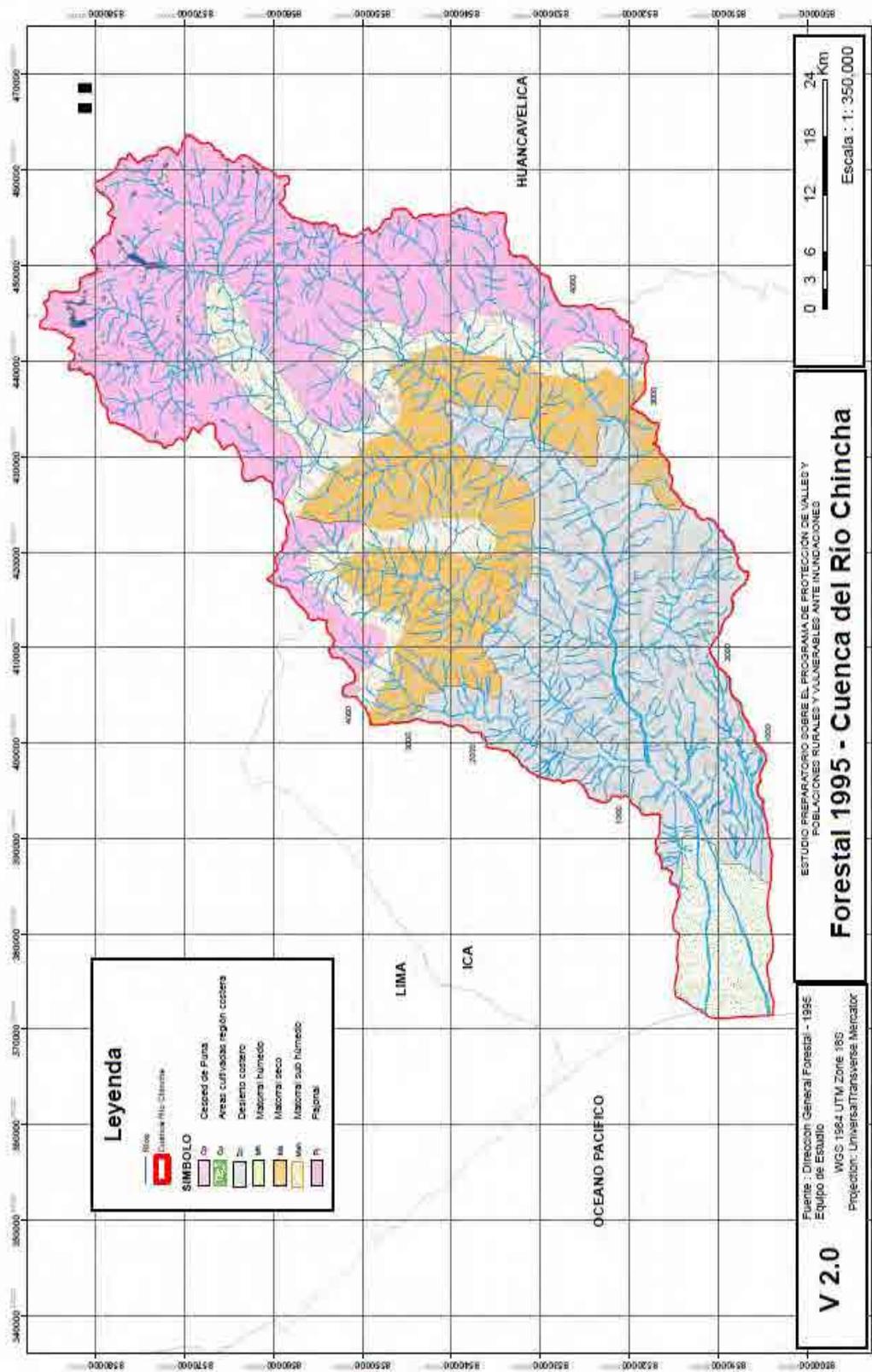


図-3.1.7-2 チンチャ流域植生分布

(出典：INRENA、1995年調査を元にJICA調査団により作成)

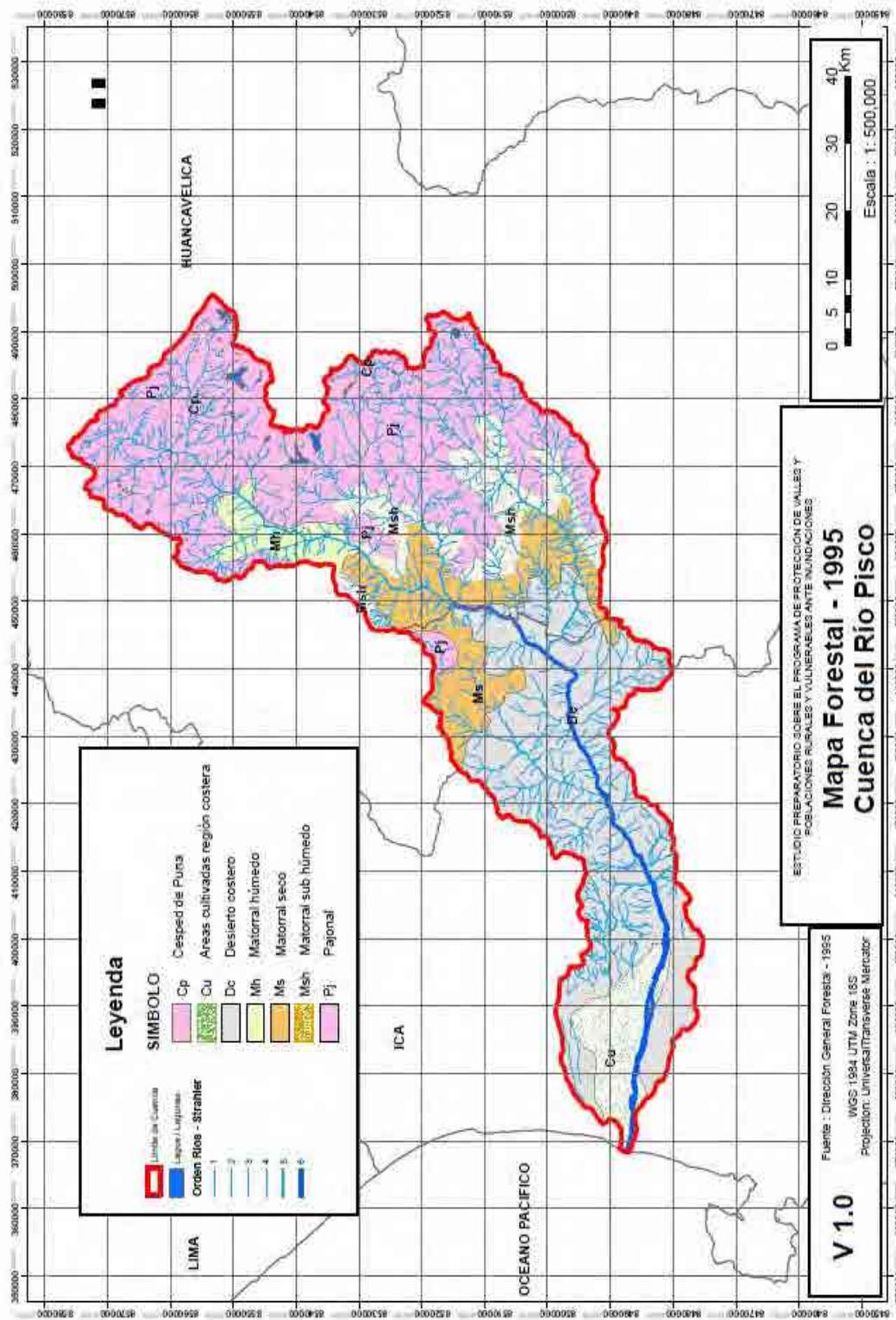


図-3.1.7-3 ピスコ流域植生分布

(出典：INRENA、1995年調査を元にJICA調査団により作成)

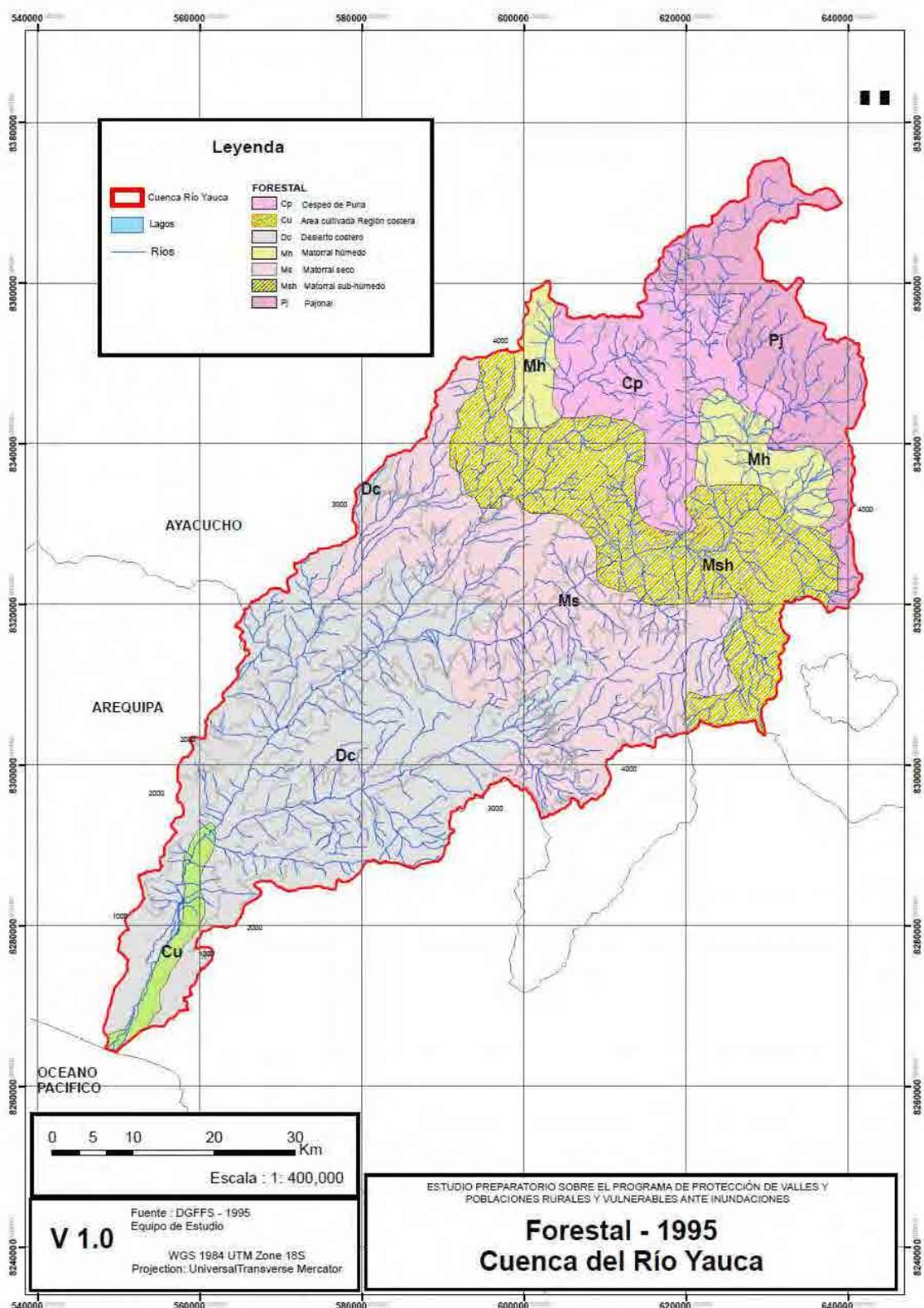


図-3.1.7-4 ヤウカ流域植生分布

(出典：INRENA、1995年調査を元にJICA調査団により作成)

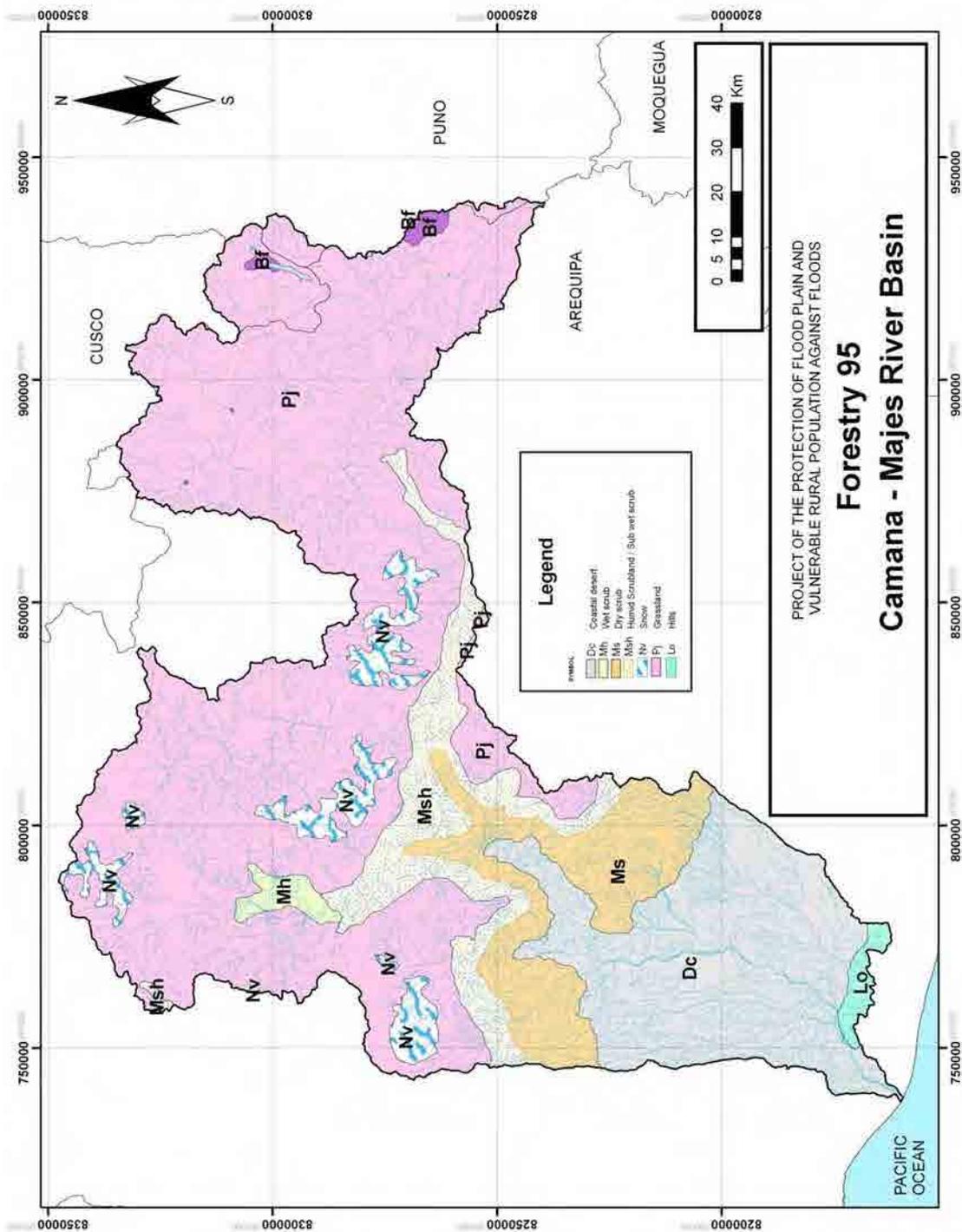


図-3.1.7-5 マヘスーカマナ流域植生分布

(出典：INRENA、1995年調査を元にJICA調査団により作成)

(2) 植生分布面積

1) カニエテ、チンチャ、ピスコ、ヤウカ流域

1995年 INRENA 調査の結果を GIS 上に移植し、流域ごとに各植生区分の面積と流域面積に対する割合を算出した（表-3.1.7-3 および図-3.7.2-1～4 を参照）。この結果を、沿岸部の砂漠地帯（Cu、Dc）、草本・サボテン地帯（Ms）、灌木林地帯（Msh、Mh）、高地の草原（Cp、Pj）という大区分で面積を集計し、区分ごとの流域面積に対する割合を計算したものが表-3.1.7-4 である。砂漠地帯が3割程度、草本・サボテン地帯が1～2割、草が3～5割となっており、灌木林地帯は1割～2割である。灌木林は、うっ閉林が成立できないような厳しい自然条件下で成立することが多く、それさえも面積は少ない。このことから、カニエテ、チンチャ、ピスコ、ヤウカの4流域においては、自然条件が相当に厳しいと判断できる。特に厳しい条件としては、降雨条件、貧しい土壌条件、急勾配斜面などが想定され、自然植生としては大型木本植生の成立が非常に難しいところであるといえる。

**表-3.1.7-3 植生区分面積と流域面積に対する割合
(カニエテ、チンチャ、ピスコ、ヤウカ流域)**

流域名	植生区分								計
	Cu	Dc	Ms	Msh	Mh	Cp	Pj	N	
(植生区分面積：ha)									
ピスコ流域	217.88	1,354.39	469.99	381.55	140.01	672.59	1,035.68	0.00	4,272.09
チンチャ流域	169.98	1,010.29	642.53	365.18	0.00	854.74	261.17	0.00	3,303.89
カニエテ流域	61.35	1,072.18	626.23	1,024.77	70.39	187.39	2,956.65	66.78	6,065.74
ヤウカ流域	69.48	1,433.26	990.99	730.67	234.49	428.64	435.04	0.00	4,322.57
計	518.69	4,870.12	2,729.74	2,502.17	444.89	2,143.36	4,688.54	66.78	17,964.29
(流域面積に対する割合：%)									
ピスコ流域	5.1	31.7	11.0	8.9	3.3	15.7	24.2	0.0	99.9
チンチャ流域	5.1	30.6	19.4	11.1	0.0	25.9	7.9	0.0	100.0
カニエテ流域	1.0	17.7	10.3	16.9	1.2	3.1	48.7	1.1	100.0
ヤウカ流域	1.6	33.2	22.9	16.9	5.4	9.9	10.1	0.0	100.0
計	2.9	27.1	15.2	13.9	2.5	11.9	26.1	0.4	399.9

(出典：1995年 INRENA 調査を元に JICA 調査団により作成)

表-3.1.7-4 大区分植生の流域面積に対する割合 (カニエテ、チンチャ、ピスコ、ヤウカ流域)

流域名	植生区分					計
	砂漠等 (Cu, Dc)	草・サボテン (Ms)	灌木林 (Msh, Mh)	草地 (Cp, Pj)	雪山 (N)	
(流域面積に対する割合：%)						
ピスコ	36.8	11.0	12.2	40.0	0.0	100.0
チンチャ	35.7	19.4	11.1	33.8	0.0	100.0
カニエテ	18.7	10.3	18.1	51.8	1.1	100.0
ヤウカ	34.8	22.9	22.3	20.0	0.0	100.0
計	30.0	15.2	16.4	38.0	0.4	100.0

(出典：1995年 INRENA 調査を元に JICA 調査団により作成)

2) マヘス - カマナ流域

カニエテ流域等と同様にカマナ・マヘス流域の1995年 INRENA 調査の結果を GIS 上に移植し、各植生区分の面積と流域面積に対する割合を算出した。(表-3.1.7-5 参照)。

表-3.1.7-5 植生区分ごとの面積 (カマナ・マヘス流域)

区分	植生区分								
	Lo	Dc	Ms	Msh	Mh	Bf	Nv	Pj	計
植生区分面積 (km ²)	104.54	3108.12	1570.08	1334.76	155.20	66.16	641.44	10069.21	17,049.51
流域面積に対する割合 (%)	0.6	18.2	9.2	7.8	0.9	0.4	3.8	59.1	100.0

(出典：1995年 INRENA 調査を元に JICA 調査団により作成)

この結果を表-3.1.7-4と同様に大分類に区分すると表-3.1.7-6となる。カマナ・マヘス流域の植生区分の特徴は、灌木林の占める割合が9%弱と非常に小さく、高地草原の占める割合が60%弱と非常に大きい点である。マヘス川の上流では標高が4,000m以上であり、高原草地在がほとんどのエリアを占めている。

表-3.1.7-6 大分類植生区分ごとの面積と割合 (カマナ・マヘス流域)

EE	砂漠等 (Lo,Dc)	草地・サボテン (Ms)	灌木林 (Msh, Mh)	高地草原 (Bf, Pj)	雪山 (N)	計
植生区分面積 (km ²)	3,212.66	1,570.08	1,489.96	10,135.37	641.44	17,049.51
流域面積に対する割合 (%)	18.8	9.2	8.7	59.4	3.8	99.9

図-3.1.7-7は大分類植生ごとの面積割合を5流域(カニエテ、チンチャ、ピスコ、ヤウカ、カマナ・マヘス)で比較したものである。カニエテ他3流域では木本植生である灌木林が流域全体に占める割合は約13~24%に過ぎないが、カマナ・マヘス流域ではその割合がさらに少なく9%弱となっている。

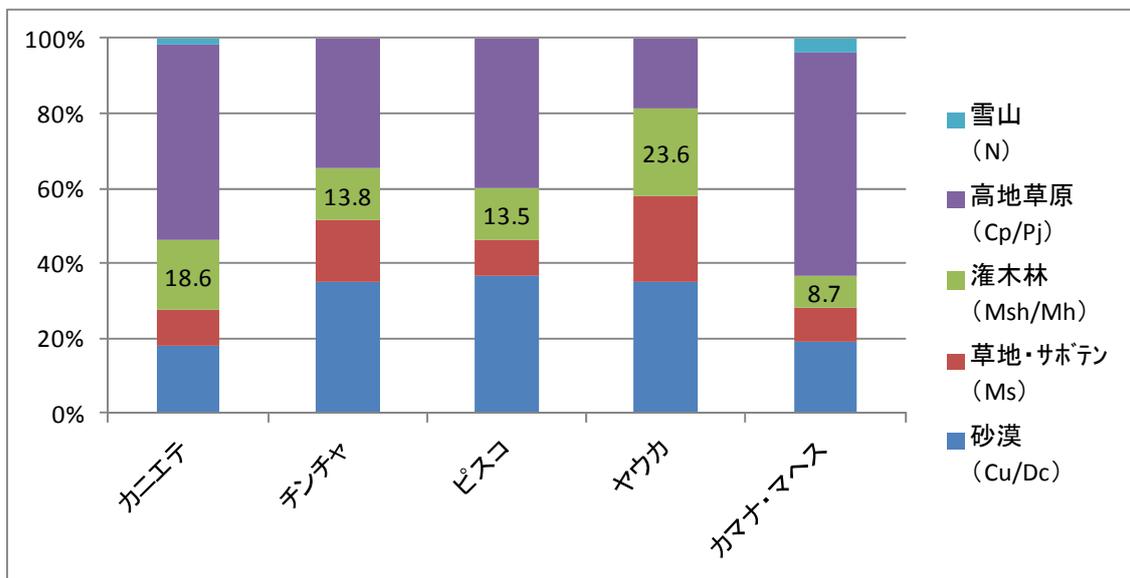


図-3.1.7-7 流域別比較 (大分類植生区分の割合)

(出典：INRENA、1995年調査を元に JICA 調査団により作成)

3) チラ流域

カニエテ等流域と同様に 1995 年 INRENA 調査の結果を GIS 上に移植し、流域ごとに各植生区分の面積と流域面積に対する割合を算出した（表-3.1.7-7 および図-3.1.7-6 を参照）。これを沿岸部の砂漠地帯（Cu、Dc）、草本・サボテン地帯（Ms）、灌木林地帯（Msh、Mh）、乾燥林（Bs-sa、Bs-co、Bs-mo）、山岳湿潤林（Bh-mo）、高地の草原（C-A、Pj）という大区分で面積を集計し、区分ごとの流域面積に対する割合を計算したものが表-3.1.7-8 である。

表-3.1.7-7 植生区分面積と流域面積に対する割合(チラ流域)

	植生区分											計
	Cu	Dc	Ms	Msh	Mh	Bs-sa	Bs-co	Bs-mo	Bh-mo	C-A*	Pj	
(植生区分面積：ha)												
上流	714.92	105.81	59.34	142.28	139.47	2,668.16	185.40	222.87	0.00	0.00	0.00	4,238.25
下流	31.70	0.00	0.00	1,205.16	1,021.28	1,889.54	473.16	1,164.53	401.54	90.25	112.57	6,389.73
計	746.62	105.81	59.34	1,347.44	1,160.75	4,557.70	658.56	1,387.40	401.54	90.25	112.57	10,627.98
(流域面積に対する割合：%)												
上流	16.9	2.5	1.4	3.4	3.3	63.0	4.4	5.3	0.0	0.0	0.0	100.2
下流	0.5	0.0	0.0	18.9	16.0	29.6	7.4	18.2	6.3	1.4	1.8	100.1
計	7.0	1.0	0.6	12.7	10.9	42.9	6.2	13.1	3.8	0.8	1.1	100.1

※注) C-A=Cuerpo Agua（陸生の水域）

(出典：1995 年 INRENA 調査を元に JICA 調査団により作成)

表-3.1.7-8 大区分植生の流域面積に対する割合（チラ流域）

区分	植生区分							計
	砂漠 (Cu、Dc)	草・サ ボテン (Ms)	灌木林 (Msh、 Mh)	乾燥林 (Bs-sa、-co、-mo)	山岳湿潤林 (Bh-mo)	水域 (C-A)	草地 (Pj)	
(流域面積に対する割合：%)								
上流	19.4	1.4	6.6	72.6	0.0	0.0	0.0	100.0
下流	0.5	0.0	34.8	55.2	6.3	1.4	1.8	100.0
計	8.0	0.6	23.6	62.1	3.8	0.8	1.1	100.0

※注) C-A=Cuerpo Agua（陸生の水域）

(出典：1995 年 INRENA 調査を元に JICA 調査団により作成)

カニエテ他 4 流域と比較すると、砂漠地帯が 1 割程度と少なく、草本・サボテン地帯は 1%にも満たない。灌木林地帯は約 2 割でほぼ同じである。カニエテ等 4 流域との最も大きな違いは、乾燥林が約 6 割を占めている点であり、これがピウラ流域の植生の特徴である。

(3) 森林面積の変化

1) 州レベルの森林面積の変化

ペルーにおける森林面積の変遷は詳細に調査されていない。INRENA による全国植林計画 (Plan Nacional de Reforestacion Peru 2005 - 2024) の「Anexo 2.」には、2005 年までに減少した森林面積が当時の県 (Departamento) ごとに記載されている。そこから、調査地に該当する県の累積減少森林

面積を抜粋し表-3.1.7-9 に示す。アレキパ県、アヤクチョ県、ワンカベリカ県、イカ県、リマ県、ピウラ県であるが、いずれの県に対しても調査対象地はその一部である。アヤクチョ県で約 10 万 ha、ワンカベリカ県、ピウラ県で約 1 万 ha の森林面積が減少している。

表-3.1.7-9 2005 年までに減少した森林面積

県名	面積 (ha)	累積森林減少面積 (ha)、及び 減少面積が県面積に占める割合 (%)	伐採後の状況	
			未利用の面積 (ha)	利用されている面積 (ha)
アレキパ	6,286,456	-	-	-
アヤクチョ	4,326,169	97,992 (2.3%)	73,554	24,438
ワンカベリカ	2,190,402	11,112 (0.5%)	11,112	-
イカ	2,093,457	-	-	-
リマ	3,487,311	-	-	-
ピウラ	3,580,750	9,958 (0.3%)	5,223	4,735

(出典：全国植林計画、INRENA、2005)

2) 流域別の森林面積の変化

(a) カニエテ、チンチャ、ピスコ、ヤウカ流域

2005 年に実施された FAO の調査による植生区分(2000 年の衛星画像データを元に作成)と 1995 年の INRENA 調査による植生区分(1995 年の衛星画像データを元に作成)を GIS 上に移植し、流域ごとに植生区分の変化を測定した。(表-3.1.7-10 参照)。

植生区分ごとの面積の増減をみると、乾燥地(砂漠、サボテン地：Cu、Dc、Ms)が減少、灌木林地帯(Msh、Mh)が増加、雪山(N)が増加、という結果となっている。

表-3.1.7-10 1995 年から 2000 年の植生区分の面積変化 (カニエテ他 3 流域)

流域名	植生区分								流域面積
	Cu	Dc	Ms	Msh	Mh	Cp	Pj	N	
(植生区分面積：ha)									
ピスコ	-3.59	-3.44	-50.99	46.88	7.01	-9.52	13.65	—	4,272.09
チンチャ	-5.09	-19.37	-95.91	86.85	3.55	-5.54	35.51	—	3,303.89
カニエテ	-13.46	-28.34	-50.22	7.24	23.70	34.89	-2.18	28.37	6,065.74
ヤウカ	-20.22	33.63	-10.87	34.13	21.15	-42.62	-15.20	—	4,322.57
計(a)	-42.36	-17.52	-207.99	175.10	55.41	-22.79	31.78	28.37	17,964.29
現況面積 (b)	518.69	4,870.12	2,729.74	2,502.17	444.89	2,143.36	4,688.54	66.78	17,964.29
現況に対 する割合 (a/b) %	-8.2	-0.4	-7.6	+7.0	+12.5	-1.1	+0.7	+42.5	

(出典：1995 年 INRENA 調査、2005 年 FAO 調査を元に JICA 調査団により作成)

(b) カマナ・マヘス流域

上記と同様にカマナ・マヘス流域の植生分布の面積の変化を測定した。(表-3.1.7-11 参照)。

1995 年から 2000 年の間では、灌木林(Msh、Mh)はそれぞれ約 30km² (2.3%)、5km²(3.2%) 減少している。高地草地(Pj)、雪山(N)の減少が顕著で、それぞれ、364km² (3.6%)、60km²

(9.4%) 減少し、湿性草原 (Bf) が約 12km² (18.2%) 増加している。増加が最も多い植生は砂漠 (DC) で、約 404km² (13.0%) 増加している。

表-3.1.7-11 1995年から2000年の植生区分の面積変化 (カマナ・マヘス流域)

面積	植生区分							
	Lo	Dc	Ms	Msh	Mh	Bf	Pj	Nv
1995年 (km ²) (a)	104.54	3,108.12	1,570.08	1,334.76	155.20	66.16	10,069.21	641.44
2000年 (km ²) (b)	131.55	3,512.24	1,586.48	1,304.54	150.25	78.18	9,705.02	581.25
変化(b-a) (km ²) (c)	27.01	404.12	16.40	-30.22	-4.95	12.02	-364.19	-60.19
変化割合 (%) (c/a)	25.8	13.0	1.0	-2.3	-3.2	18.2	-3.6	-9.4

(出典：1995年 INRENA 調査、2005年 FAO 調査を元に JICA 調査団により作成)

(4) 植生の現況

1) カニエテ、チンチャ、ピスコ、ヤウカ流域

カニエテ、チンチャ、ピスコ、ヤウカの4流域は大型木本植物の生育にはあまり適したところとはいえ、天然植生としてはほとんど分布していない。唯一、河川沿いの地下水位が高いところに集中して生育している。

このような状況にあり、全体として植生の適地がないため、調査対象地では大規模な植林は実施されていない。少なくとも、商業利益を第一目的とした植林が実施されているという情報は得られなかった。

流域の下流部～中流部では主として次の3種類の植林が実施されている。i)河川沿いに防災のための植林、ii)農地の周囲を囲む防風・防砂のための植林、iii)家屋の周囲を囲む植林。いずれも面積としては非常に少なく、樹種もユーカリが最も多く、次いでモクマオウ、郷土種の植林は少ない。一方、アンデス高地では薪炭供給のための植林、農地を冷害・獣害(家畜)から保全するための植林、水源地を保全するための植林が行なわれている。植林樹種はユーカリ、マツがほとんどである。アンデス高地での植林は旧 PRNAMACHIS (現在の AGRORURAL) のプログラムによって実施されているものが多く、AGRORURAL がコミュニティに苗木を供給し、農民がそれを植栽し、維持管理していくシステムが一般的である。州政府による植林事業もあるが数量としては多くない。このシステムでは、植栽地の選定にコミュニティの合意が必要で、多くの農民は少しでも農地を増やしたいと考えているため、合意形成には長い期間を要しており、なかなか植林事業がすすまないのが実情である。加えてアンデス高地の3,800m以上のところでは冷温のため植林が難しくなる。また、組織改革のため資料が散逸し、これまでの植林事業実績についての記録はほとんど収集できなかった。

前出の全国植林計画 (INRENA、2005) に1994年から2003年までの旧県 (Departamento) ごとの植林実績が記載されている。ここから、調査対象地に該当する旧県の植林実績を抜粋した (表-3.1.7-12 参照)。1994年は植林面積が多いものの、その後急激に植林面積は落ち込んでいる。また、アレキパ、イカ、リマは沿岸に位置し、降雨量が非常に少ないため植林が可能とところが少なく、また、植林の需要が低いと想定される。一方、アンデス高地に位置するアヤクチョ、ウアンカベリカ、ユニンでは農地・放牧地の保護や薪炭等の需要が高く、降雨量も多いが上記のような理由

があり、植林面積は多くない。

表-3.1.7-12 1994年から2003年までの植林実績

(単位：ha)

県	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	計
アレキパ	3,758	435	528	1,018	560	632	nr	37	282	158	7,408
アヤクチョ	14,294	9,850	3,997	8,201	2,177	6,371	4,706	268	2,563	220	52,647
ウアンカベリカ	12,320	1,210	2,587	2,061	294	7,962	6,001	545	1,035	0	34,015
イカ	2,213	20	159	159	89	29	61	15	4	1	2,750
ユニン	38,064	921	3,781	8,860	2,597	4,412	718	995	556	752	61,656
リマ	6,692	490	643	1,724	717	1,157	nr	232	557	169	12,381
ピウラ	7,449	971	2,407	3,144	19,070	2,358	270	1,134	789	48	37,640

出典：全国植林計画、INRENA、2005

2) カマナ・マヘス流域

Agrorural からの聞き取り資料によれば、アレキパ州における植林実績は表-3.1.7-13 のとおりである。4 か所で実施されているがいずれも小面積で、試験的なものが多い。また、国際 NGO の Nature Conservancy ではペルー海岸地域に固有のマロス植生を回復させる活動を実施中である。

表-3.1.7-13 アレキパ州の植林実績

植栽年	植栽箇所	事業主体	植栽樹種	面積 (ha)	備考
1992	アレキパ	サン・アグスティン 国立大学	郷土種	2	森林調査及び試験植林
2004	アレキパ郡、ホロヤ地区 ベラビスタ村・ウニヤ村	AGRORURAL	ユーカリ・ マツ・ヒノキ	3	
2005	アレキパ	大学卒業論文	モイェ	0.5	

(出典：AGRORURAL からの聞き取りをもとに JICA 調査団により作成)

3.1.8 土壌侵食の現況

(1) 収集資料および基礎資料の作成

1) 収集資料

調査対象地域の土砂生産の現況を調査する目的で表-3.1.8-1 に示す資料を収集した。

表-3.1.8-1 収集資料の一覧

収集資料	作成年	形式	作成機関
地形図 (S=1/50,000)	2003	Shp	INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL (IGN) 国土地理院
地質図 (S=1/100,000)	2007	Shock Wave	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) 国立地質・鉱業・冶金院
DEM 30x30 Digital Elevation Model	2008	GEO TIFF	Nacional aeronautics and Space Administration (NASA) 米国航空宇宙局
河川データ	2008	SHP	IGN
流域データ	2010	SHP	Autoridad Nacional del Agua (ANA) 全国水資源局
等雨量曲線図	1965-74	PDF	ANA
侵食区分図	1996	SHP	Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) 国立天然資源院
土壌区分図	1996	SHP	INRENA
植生区分図	2000 1995	SHP2000年 PDF1995年	Dirección General de Flora y Fauna Silvestre (DGFFS) 農業省森林・野生動物総局
雨量データ		Text	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) 国立気象・水文機構
人口分布図	2007	SHP	Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) 国立統計院

2) 基礎資料の作成

収集した資料を用いて以下のデータを作成した。これらのデータは Annex-6 に添付する。

- ・水系図
- ・水系区分図 (3次谷で流域区分)
- ・地質図と水系図
- ・侵食図と水系図
- ・植生区分図 2000年
- ・植生区分図 1995年
- ・地質図と河床勾配
- ・水系区分図と河床勾配
- ・土壌区分図と水系図
- ・等雨量線図
- ・人口分布図

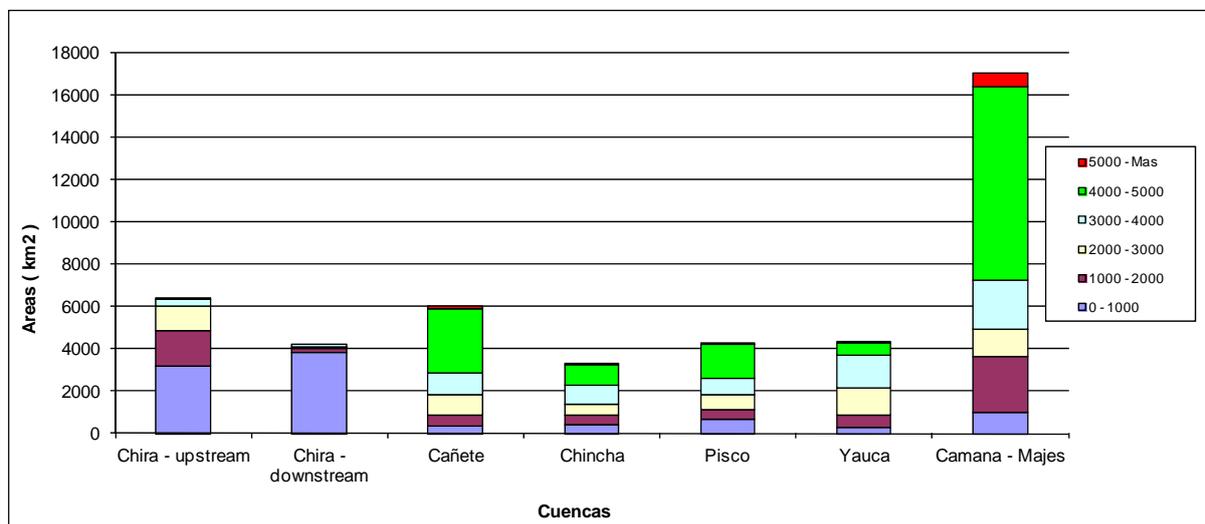
(2) 土壌侵食要因の分析

1) 地形特性

i) 標高別面積

各流域の標高割合を表-3.1.8-2 および図-3.1.8-1 に示す。カニエテ流域およびマヘス-カマナ

流域が 4,000m 以上の標高の占める割合が多い。4,000m 以上の標高は比較的なだらかでこの部分に雪山およびため池が多く分布している。カニエテ流域およびマヘス-カマナ流域はこの部分の面積が広く、他の流域に比べて水源が豊富で、流量が多い。特にマヘス-カマナ流域は標高 4,000-5,000 が 53% を占める。チラ流域は 0-1,000m の割合が多い。



出典：30m メッシュデータを元に JICA 調査団により作成

図-3.1.8-1 各流域における標高特性

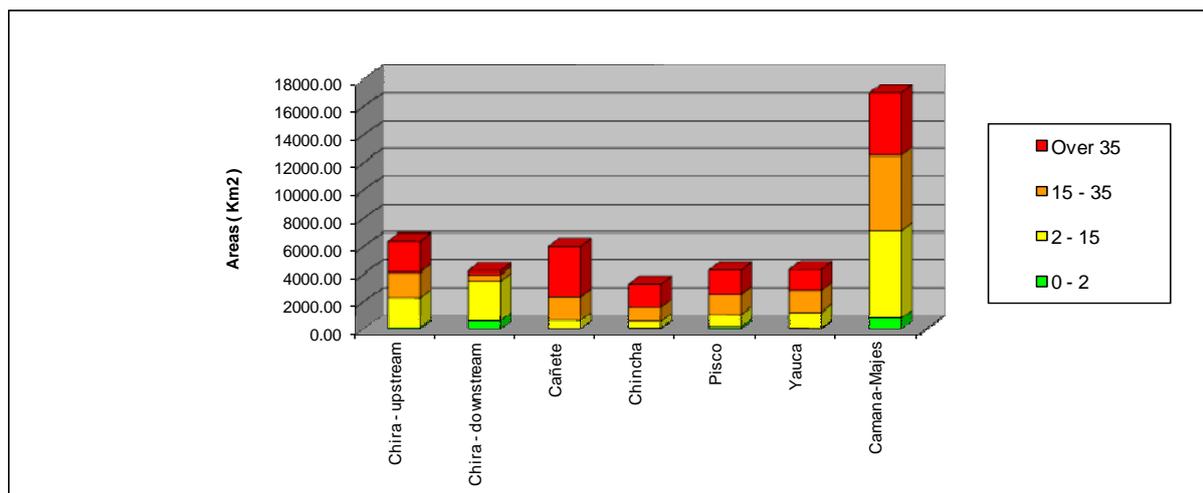
表-3.1.8-2 各流域における標高特性

標高 (msnm)	面積 (Km ²)						
	チラ -上流域	チラ -下流域	カニエテ 流域	チンチャ 流域	ピスコ 流域	ヤウカ 流域	カマナ/マ ヘス流域
0 - 1000	3262.43	3861.54	381.95	435.6	694.58	332.79	1040.56
1000 - 2000	1629.48	207.62	478.2	431.33	476.7	575.82	2618.77
2000 - 3000	1153.61	43.24	1015.44	534.28	684.78	1302.58	1277.54
3000 - 4000	313.74	156.11	1012.58	882.39	760.47	1504.8	2305.64
4000 - 5000	0.22	0.00	3026.85	1019.62	1647.8	602	9171.56
5000 以上	0.00	0.00	108.95	0.67	6.19	0.55	635.44
合計	6359.48	4268.51	6023.97	3303.89	4270.52	4318.54	17049.51
最大標高		4110	5355	5005	5110	5060	5821

出典：30m メッシュデータを元に JICA 調査団により作成

ii) 傾斜区分

各流域の傾斜区分図を作成した。各流域における傾斜区分割合を図-3.1.8-2 および表-3.1.8-3 にしめす。カニエテ流域、チンチャ流域、ピスコ流域、ヤウカ流域、カマナ/マヘス流域、チラ流域の順序で地形が険しいことが分かる。特にカニエテ流域、チンチャ流域は、35%以上の傾斜が全流域の 50%以上をしめる。地形勾配がきついほど土砂流出が多いといわれており、上記の順で土砂流流出が多いことが推定される。



出典：30m メッシュデータを元に JICA 調査団により作成

図-3.1.8-2 各流域における傾斜区分割合

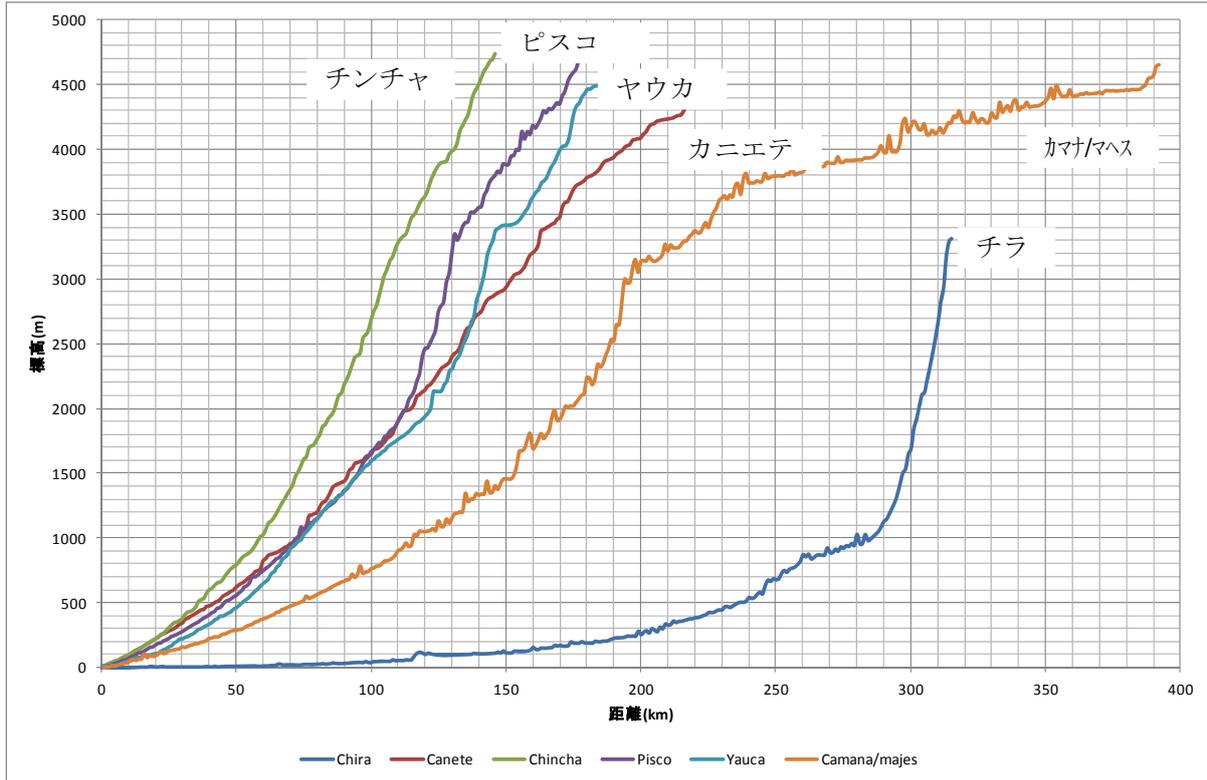
表-3.1.8-3 各流域における傾斜区分割合

Slope Basin (%)	チラ - 上流域		チラ - 下流域		カニエテ流域		チンチャ流域	
	面積(km2)	割合	面積(km2)	割合	面積(km2)	割合	面積(km2)	割合
0 - 2	131.62	2%	651.28	15%	36.37	1%	90.62	3%
2 - 15	2167.69	34%	2859.35	67%	650.53	11%	499.68	15%
15 - 35	1852.79	29%	465.86	11%	1689.81	28%	1019.77	31%
Over 35	2237.64	35%	261.76	6%	3647.26	61%	1693.82	51%
TOTAL	6389.74	100%	4238.25	100%	6023.97	100%	3303.89	100%
Slope Basin (%)	ピスコ流域		ヤウカ流域		カマナ/マヘス流域			
	面積(km2)	割合	面積(km2)	割合	面積(km2)	割合		
0 - 2	168.57	4%	79.01	2%	869.75	5%		
2 - 15	947.86	22%	1190.19	28%	6210.54	36%		
15 - 35	1426.18	33%	1591.21	37%	5452.97	32%		
Over 35	1727.91	40%	1458.13	34%	4516.25	26%		
TOTAL	4270.52	100%	4318.54	100%	17049.51	100%		

出典：30m メッシュデータを元に JICA 調査団により作成

iii) 河川縦断

河川縦断は、図-3.1.8-3 に示す通りである。カニエテ流域、チンチャ流域、ピスコ流域およびヤウカ流域は河川縦断が比較的類似している。カマナ/マヘス流域は河口から 200km までは急勾配であるが、200km から 400km にかけてはなだらかである。チラ川は 300km 程度まではなだらかであるが、300km より上流では急勾配となる。

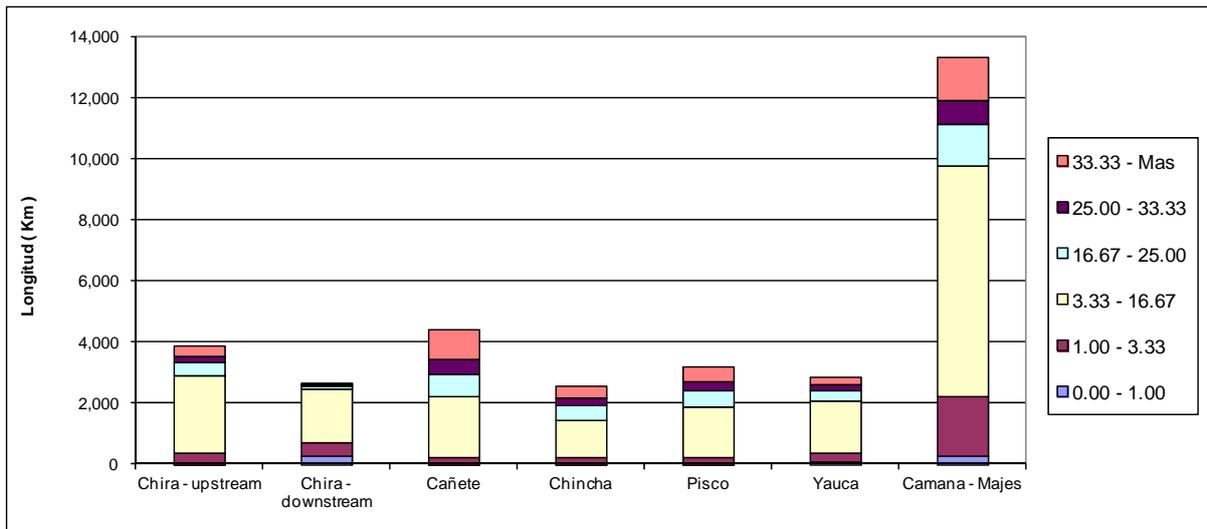


出典：30m メッシュデータを元に JICA 調査団により作成

図-3.1.8-3 6 溪流の河川縦断

iii) 河床勾配

図-3.1.8-5 に示すように河床勾配によって溪流は掃流区間と土石流区間に区分される。河床勾配割合を図-3.1.8-4 および表-3.1.8-4 に示す。土石流発生区間は河床勾配が 1/3 以上の溪流といわれており、カニエテ流域が最も長い。堆積区間に相当する河床勾配 1/30~1/6 の占める割合が大きい。流域全体では河道調節量が大きいことがわかる。



出典：30m メッシュデータを元に JICA 調査団により作成

図-3.1.8-4 各流域の河床勾配

表-3.1.8-4 各流域の河床勾配

Slope River (%)	チラ - 上流域	チラ - 下流域	カニエテ 流域	チンチャ 流域	ピスコ 流域	ヤウカ 流域	カマナ/マヘス 流域
0.00 - 1.00	6.00	233.34	12.82	5.08	12.15	39.13	263.45
1.00 - 3.33	345.77	471.67	173.88	177.78	165.05	312.82	1953.19
3.33 - 16.67	2534.14	1751.16	1998.6	1250.82	1683.15	1687.19	7511.73
16.67 - 25.00	435.46	97.84	753.89	458.76	519.64	352.42	1383.17
25.00 - 33.33	201.72	37.51	467.78	255.98	291.84	185.78	761.15
33.33 - Mas	318.46	42.72	975.48	371.8	511.76	226.92	1425.65
TOTAL	3841.55	2634.24	4382.45	2520.22	3183.59	2804.26	13298.34

出典：30m メッシュデータを元に JICA 調査団により作成

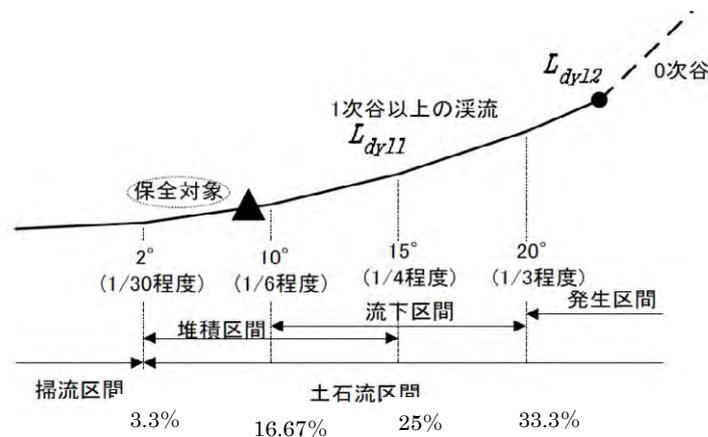


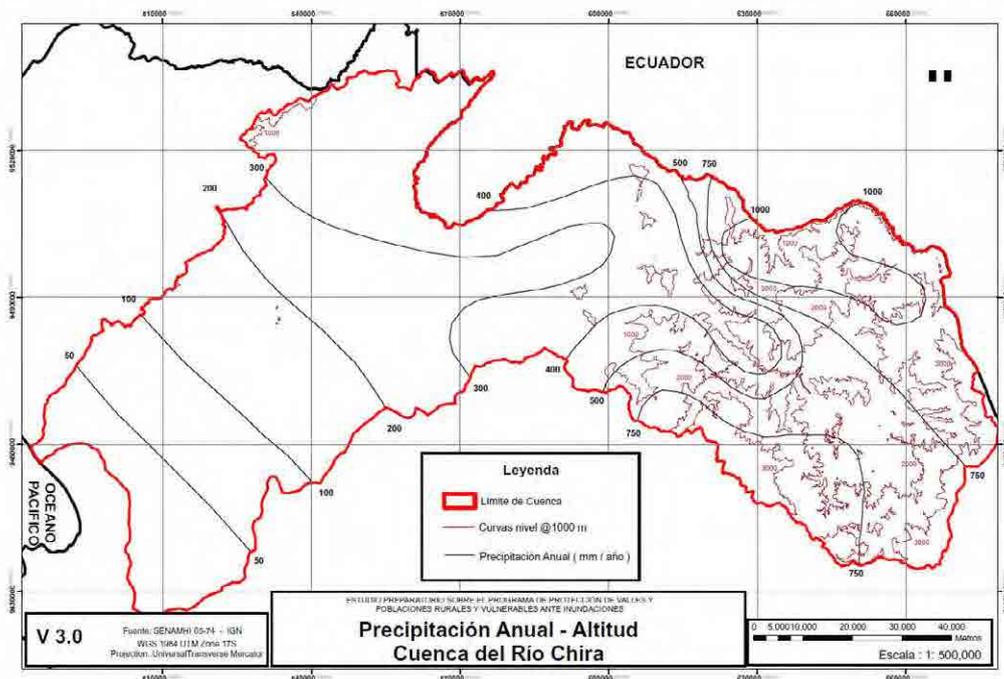
図-3.1.8-5 河床勾配と土砂移動の形態

2) 降雨特性

ペルーの太平洋側に面した幅 30~50km、長さ約 3000km の海岸砂漠地域（コスタ）は、チカラと呼ばれる気候区分に入り、年間の平均気温は 20℃前後。年間を通じてほとんど雨が降らない。

標高 2500~3500m はケチュアという気候区分に入る。この付近では年間 200~300mm の雨が観測されている。ケチュアを越えると標高 3500~4500m のスニと呼ばれる不毛の地域になり、この付近では年間 700mm 程度の雨が観測される。

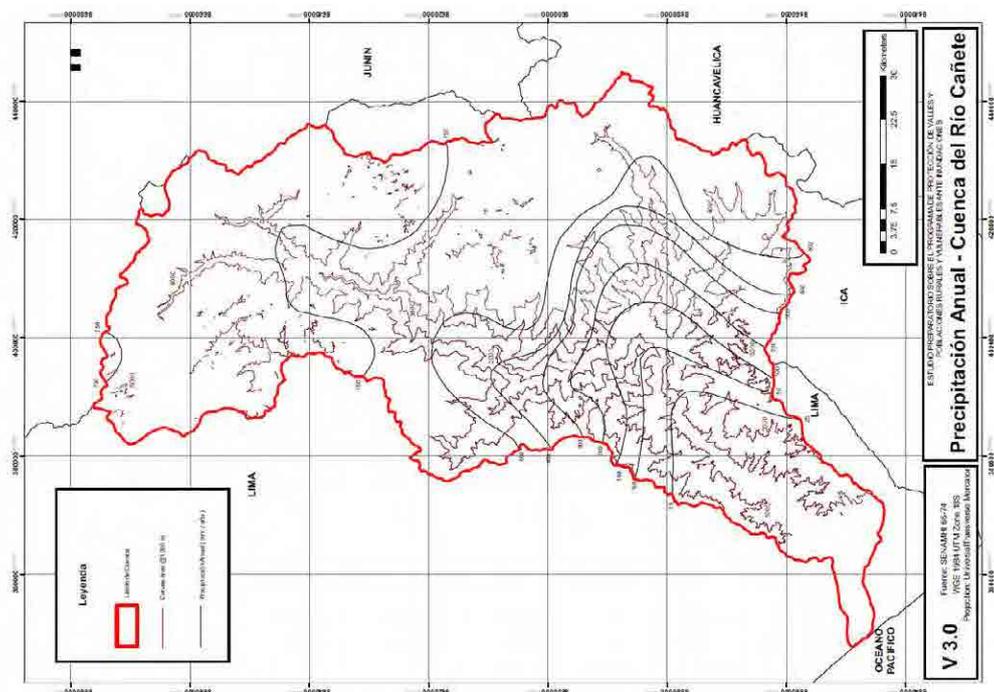
各流域の年間雨量等曲線図を図-3.1.8-6~図-3.1.8-11 に示す。



出典： SENAMHI データを基に JICA 調査団により作成

図-3.1.8-6 チラ川流域等雨量線図

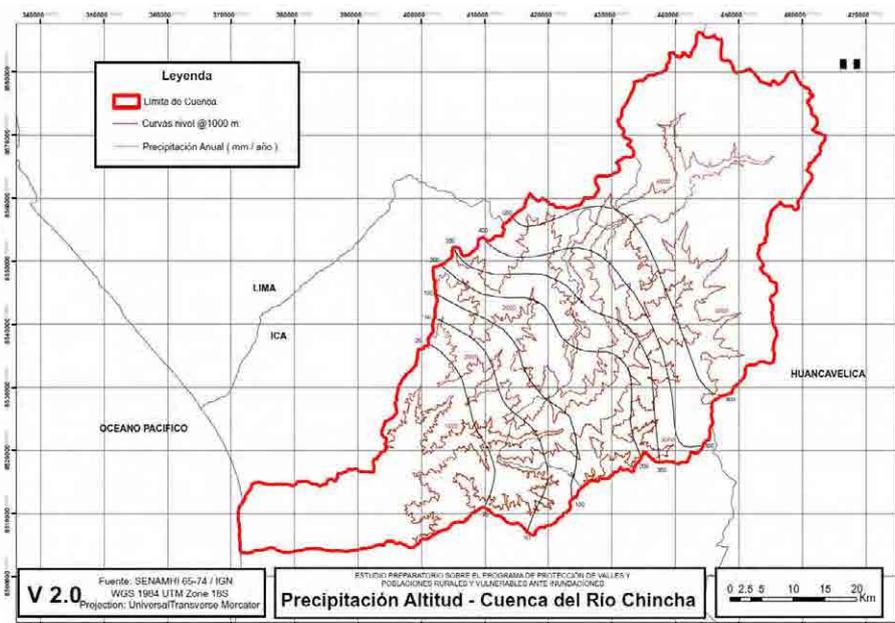
氾濫解析対象エリアでの年間降水量は 0~200mm である。東側の標高 2,000m のエリアでの年間降水量は 750~1,000mm である。



出典： SENAMHI データを基に JICA 調査団により作成

図-3.1.8-7 カニエテ流域等雨量線図

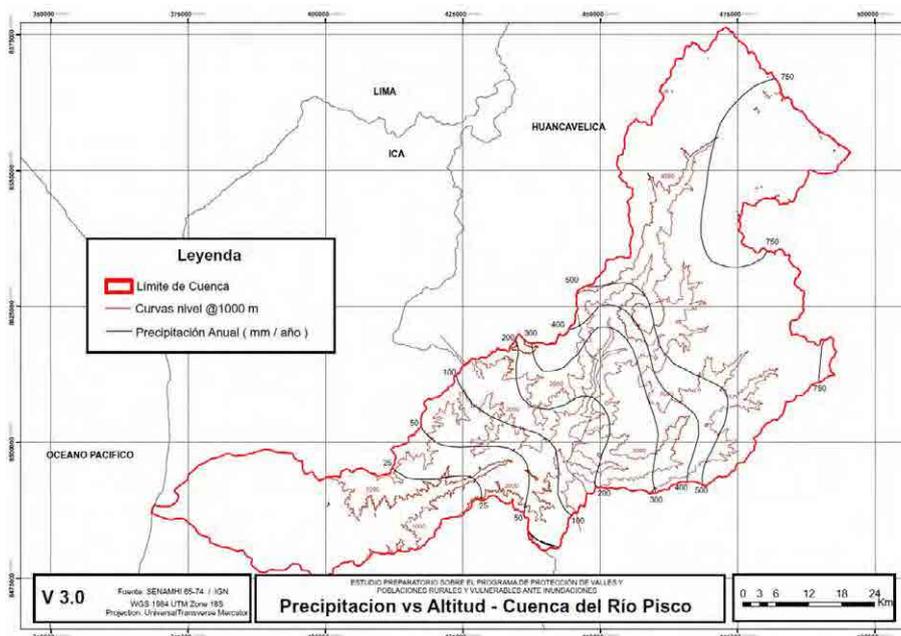
氾濫解析対象エリアでの年間降水量は 0~25mm である。北側の標高 4,000m のエリアでの年間降水量は 750~1,000mm である。



出典： SENAMHI データを基に JICA 調査団により作成

図-3.1.8-8 チンチャ流域等雨量線図

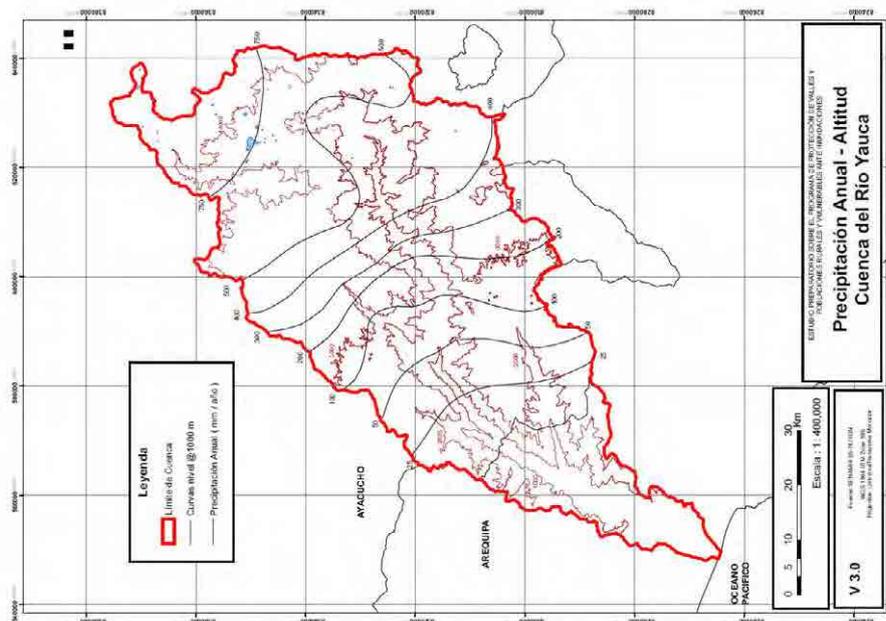
氾濫解析対象エリアでの年間降水量は 0～25mm である。東側の標高 4,000m のエリアでの年間降水量は 500～750mm である。



出典： SENAMHI データを基に JICA 調査団により作成

図-3.1.8-9 ピスコ流域等雨量線図

氾濫解析対象エリアでの年間降水量は 0～25mm である。東側の標高 4,000m のエリアでの年間降水量は 500～750mm である。



出典： SENAMHI データを基に JICA 調査団により作成

図-3.1.8-10 ヤウカ流域等雨量線図

氾濫解析対象エリアでの年間降水量は0~25mmである。北側の標高3,000~4,000mのエリアでの年間降水量は500~750mmである。

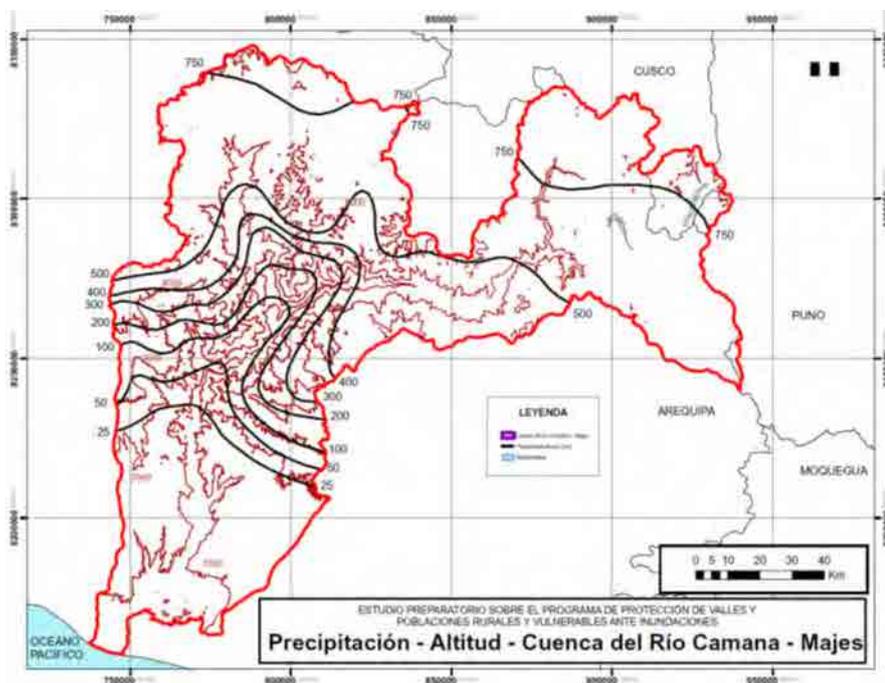


図-3.1.8-11 マヘス - カマナ流域等雨量線図

氾濫解析対象エリアでの年間降水量は0~50mmである。南東側の標高4,000~5,000mのエリアでの年間降水量は500~750mmである。

3) 斜面勾配と標高

各流域における斜面勾配と標高の関係をとりまとめた（図-3.1.8-12、表-3.1.8-5 参照）。

チラ上流では、標高 1,000～3,000m に勾配が 35%以上の斜面が多く分布する。下流では、勾配 2～15° の斜面が全体の 67%を占める。

カニエテ流域では、勾配が 35%以上の斜面が 60%を占める。特に標高 4,000～5,000m において勾配 35%以上の斜面が多い。

チンチャ流域では標高 2,000～4,000m において勾配 35%以上の斜面が多い。

ピスコ流域では標高 1,000～4,000m において勾配 35%以上の斜面が多い。標高 4,000m 以上では、35%以下の比較的緩やかな斜面が分布している。

ヤウカ流域では標高 1,000～3,000m において勾配 35° 以上の斜面が多く分布している。標高 3,000m 以上では、35%以下の緩やかな斜面が分布している。またマヘス - カマナ川については 2012 年 1 月 9 日に SNIP に登録した。ヤウカ川を除く 4 流域（チラ、カニエテ、チンチャ、ピスコ）のプレ F/S レベルのプロジェクトレポート（流域別）は DGIH より OPI に提出され、2011 年 9 月 22 日に OPI より DGIH にコメントが伝達された。現在コメントに関する報告書の修正につき、DGIH,OPI と協議中である。マヘス - カマナ川については OPI のコメントは出されていない。

マヘス-カマナ流域では、標高 1,000-4,000 で地形変化が大きい。世界で最も深い溪谷のひとつといわれるコルカ溪谷がここに位置する。

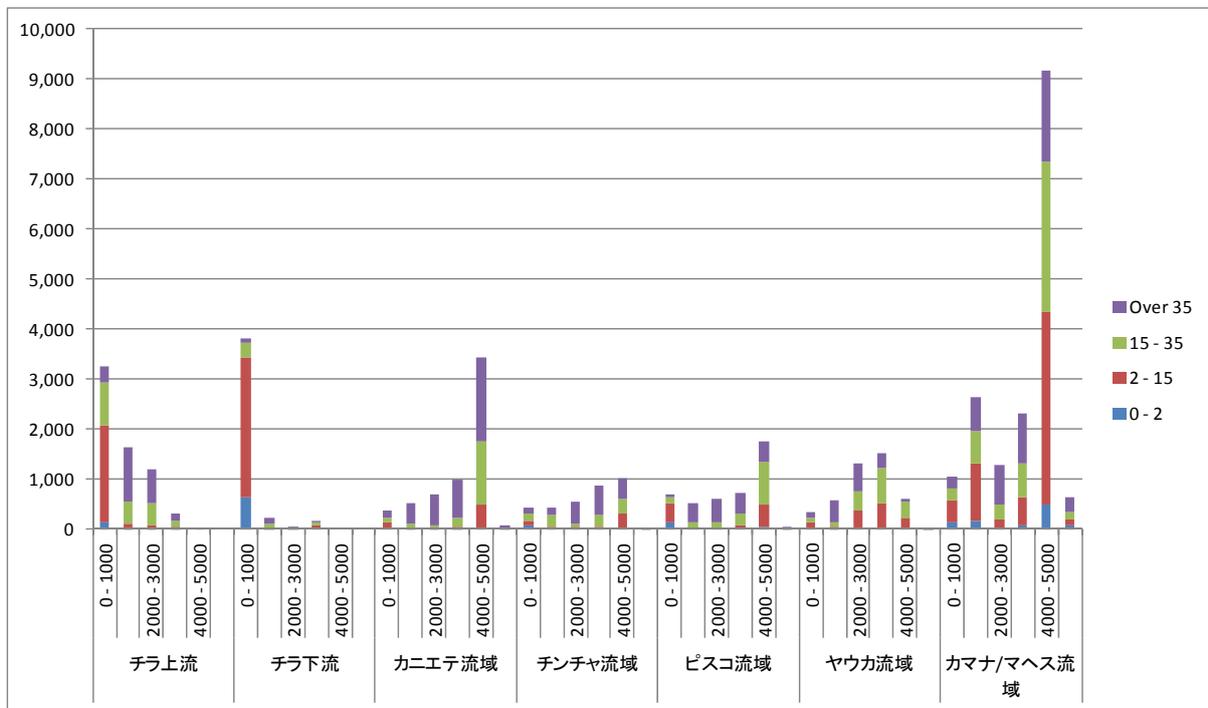


図 3.1.8-12 各流域における斜面勾配と標高の関係

表-3.1.8-5 各流域における斜面勾配と標高の関係

流域	斜面勾配	標高(m)												合計
		0 - 1000		1000 - 2000		2000 - 3000		3000 - 4000		4000 - 5000		5000 - Mas		
チラ 上流	0 - 2	129.06	98%	1.34	1%	0.83	1%	0.39	0%	0.00	0%	0.00	0%	131.62
	2 - 15	1934.27	89%	99.74	5%	84.46	4%	49.22	2%	0.00	0%	0.00	0%	2167.69
	15 - 35	859.87	46%	443.18	24%	432.88	23%	116.86	6%	0.00	0%	0.00	0%	1852.79
	Over 35	319.67	14%	1084.79	48%	677.65	30%	155.31	7%	0.22	0%	0.00	0%	2237.64
チラ 下流	0 - 2	647.61	99%	0.21	0%	0.13	0%	3.33	1%	0.00	0%	0.00	0%	651.28
	2 - 15	2777.68	97%	12.58	0%	6.70	0%	62.39	2%	0.00	0%	0.00	0%	2859.35
	15 - 35	300.77	65%	87.38	19%	10.34	2%	67.37	14%	0.00	0%	0.00	0%	465.86
	Over 35	100.13	38%	108.92	42%	31.86	12%	20.85	8%	0.00	0%	0.00	0%	261.76
カニ エテ 流域	0 - 2	15.51	60%	0.56	2%	0.15	1%	0.52	2%	8.88	35%	0.05	0%	25.67
	2 - 15	111.54	17%	18.13	3%	11.10	2%	35.27	5%	490.68	73%	3.26	0%	669.98
	15 - 35	101.99	6%	75.00	4%	64.27	4%	193.48	11%	1252.70	73%	21.88	1%	1709.32
	Over 35	141.11	4%	435.02	12%	604.91	17%	751.43	21%	1668.31	46%	59.99	2%	3660.77
チン チャ 流域	0 - 2	78.15	86%	0.00	0%	0.00	0%	0.00	0%	12.47	14%	0.00	0%	90.62
	2 - 15	80.09	16%	50.00	10%	47.83	10%	32.12	6%	289.52	58%	0.12	0%	499.68
	15 - 35	148.11	15%	234.91	23%	64.87	6%	256.02	25%	315.65	31%	0.21	0%	1019.77
	Over 35	129.25	8%	146.42	9%	421.58	25%	594.25	35%	401.98	24%	0.34	0%	1693.82
ピスコ 流域	0 - 2	132.09	76%	1.79	1%	2.08	1%	3.58	2%	33.74	19%	0.02	0%	173.30
	2 - 15	371.35	39%	25.01	3%	23.33	2%	67.75	7%	459.43	48%	1.51	0%	948.38
	15 - 35	118.98	8%	107.69	8%	101.38	7%	230.25	16%	856.43	60%	4.06	0%	1418.79
	Over 35	60.92	4%	373.82	22%	479.29	28%	415.34	24%	398.45	23%	3.8	0%	1731.62
ヤウカ 流域	0 - 2	21.13	27%	1.48	2%	14.72	19%	25.07	32%	16.56	21%	0.05	0%	79.01
	2 - 15	106.81	9%	40.14	3%	350.89	29%	498.75	42%	193.38	16%	0.22	0%	1190.19
	15 - 35	86.07	5%	94.66	6%	399.92	25%	685.64	43%	324.82	20%	0.10	0%	1591.21
	Over 35	118.78	8%	439.54	30%	537.05	37%	295.34	20%	67.24	5%	0.18	0%	1458.13
カマナ/ マハス 流域	0 - 2	140.95	15%	158.22	17%	14.72	2%	78.54	8%	480.22	51%	61.23	7%	140.95
	2 - 15	446.73	7%	1164.54	18%	350.89	5%	560.22	9%	3850.12	59%	128.91	2%	446.73
	15 - 35	222.03	4%	622.51	12%	399.92	8%	673.63	13%	3014.22	59%	154.69	3%	222.03
	Over 35	230.75	5%	677.32	15%	537.05	12%	993.25	22%	1823.81	40%	290.08	6%	230.75

3) 侵食特性

チラを除く各流域の流域特性は図-3.1.8-13のようにまとめられる。標高が 1,000m 以下では、植生がなく、降水量が小さい(エリア A)。この箇所では、侵食量は少ない。標高 1,000~4,000m では、地形が急峻で植生はなく、裸地状である(エリア B)。降水量はそれほど大きくないが、この箇所での侵食量が最も多いと推定される。また、標高 4,000m を超えると降水量が多く、気温が低い。低温に適した低木類が地表面を覆い、なおかつ地形勾配が緩いため侵食量は少ない(エリア C)。

流域毎のエリアと標高の関係を表-3.1.8-6 に示す。

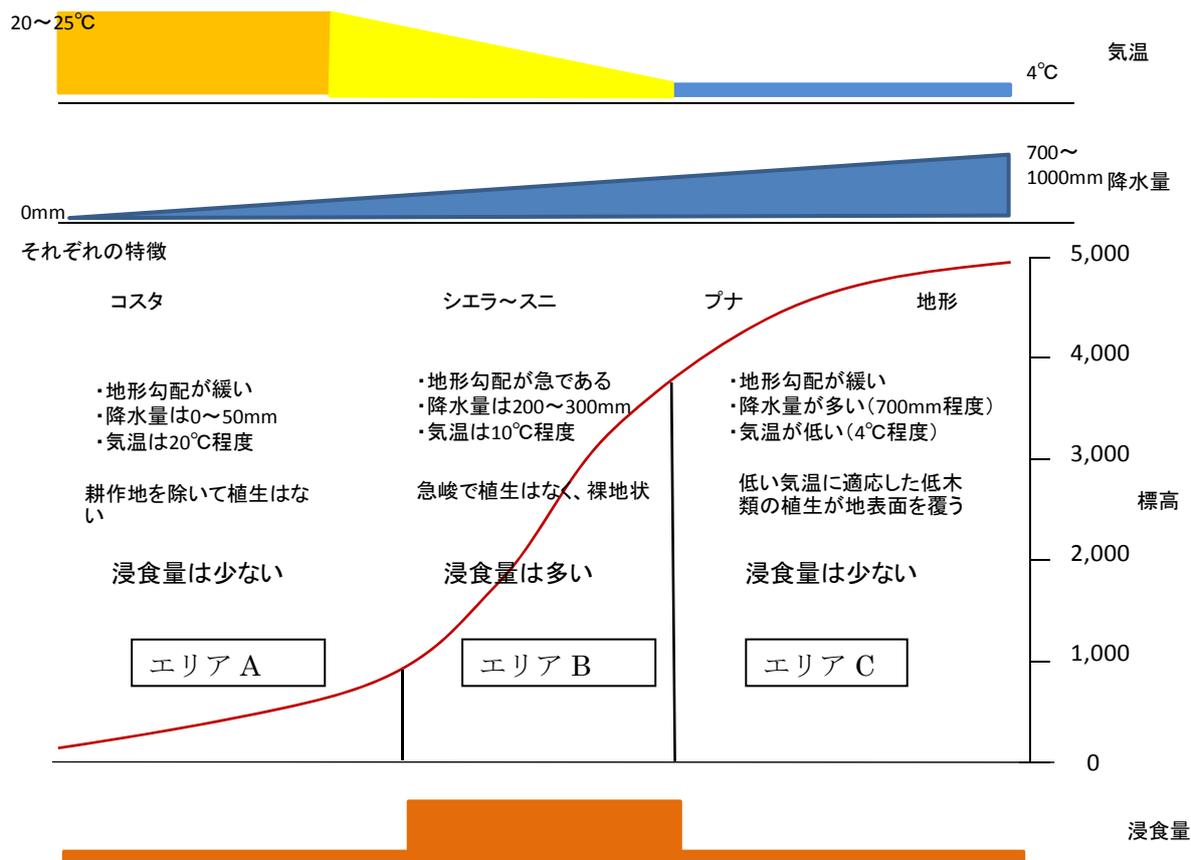


図-3.1.8-13 流域特性

表 3.1.8-6 流域毎のエリアと標高の関係

エリア	カニエテ流域	チンチャ流域	ピスコ流域	ヤウカ流域	マヘスーカ マナ流域
A	0-1,000	0-1,000	0-1,000	0-1,000	0-1,000
B	1,000-3,500	1,000-3,500	1,000-3,500	1,000-3,500	1,000-3,000
C	3,500-5,000	3,500-5,000	3,500-5,000	3,500-5,000	3,000-5,000

(3) 土砂生産状況

1) 現地調査結果

チラおよびカマナマヘスを除く 4 流域は近接しており、おおむね同じ状況にあると判断できる。チラは上流に Poechoce ダムがあり、このダムに土砂が堆砂するため、下流側への土砂供給はない。ピスコ、カニエテ流域とカマナマヘス流域に対して現地調査結果を述べる。

(a)ピスコ流域およびカニエテ流域

調査結果は以下の通りである。

- ・山肌には、崩壊、風食などにより生産された碎屑物が崖錐を形成している。
- ・基岩地質毎に若干生産形態は異なる。安山岩質〜玄武岩質は巨礫の崩落、破砕がメインであり、堆積岩質は風化による風化侵食、細粒砂の匍行がメインである（図-3.1.8-14 および図-3.1.8-15 参照）。

- ・ 平時に匍行性の土砂移動があるためか、図-3.1.8-16 に示すように植生は根付いていない。安山岩質の岩盤摂理面など、あまり土砂移動のない場所においては、藻類やサボテン類が侵入しているのが認められた。
- ・ ほとんどの河道で低位の段丘面が残っているため、そのような場所では斜面から直接河道への土砂流入は見られず、段丘上に崖錐を形成している。そのため、ほとんどの河川への供給土砂は段丘堆積物からの侵食土砂および河床変動による堆積土砂と推察される（図-3.1.8-17 参照）。
- ・ 上流側では、段丘面がすくなくなり、斜面からの直接土砂流入が確認できるが、極僅かであると判断できる。
- ・ 溪谷内は、段丘が発達している(カニエテ,ピスコ流域で高さ 10m 以上の規模)。この段丘面の脚部は各所で流路に接しており、それらの地点からは通常流水(雨期の中小規模出水を含む)で土砂が再流出, 移動しているものと考えられる。



図-3.1.8-14 安山岩質～玄武岩質の崩壊地



図-3.1.8-15 堆積岩類の土砂生産状況



図-3.1.8-16 サボテンの侵入状況



図-3.1.8-17 河道付近における土砂移動

(b)カマナ/マヘス流域

調査結果は以下の通りである。

- 大地を 800m 程度侵食してできた溪谷の中を流れる河川である。谷幅は約 4.2km で川幅は 400m である(図-3.1.8-20 参照)。ヤウカと同様の地形をなすが、溪谷谷の深さおよび幅が大きい。
- 山肌には、植生はなく、崩壊、風食などにより生産された碎屑物が崖錐を形成している(図-3.1.8-26 参照)。
- 基岩地質は、中古代の堆積岩を主体とし、風化による風化侵食、細粒砂の匍行がメインである(図-3.1.8-26)。
- 平常時に匍行性の土砂移動があるためか、写真に示すように植生は根付いていない(図-3.1.8-20 及び図-3.1.8-26)。
- 谷底の幅が広く対象区間(河口から 111km アンダマヨとの合流点)においては河道で低位の段丘面が残っているため、そのような場所では斜面から直接河道への土砂流入は見られず、段丘上に崖錐を形成している。そのため、ほとんどの河川への供給土砂は段丘堆積物からの侵食土砂および河床変動と推察される(図-3.1.8-26)。
- 上流側では、段丘面がすくなくなり、斜面からの直接土砂流入が確認できるが、極僅かであると判断できる(図-3.1.8-26)。
- ヒアリング結果によれば、対象区間における支線からの土石流発生状況は以下の通りのこと。また、上流側から土砂が流入し、河床上昇しているとのことであったが、観測は実施していないとのことであった。
- 溪谷内は、段丘が発達しており、この段丘面の脚部は各所で流路に接しており、それらの地点からは通常流水(雨期の中小規模出水を含む)で土砂が再流出、移動しているものと考えられ

る。

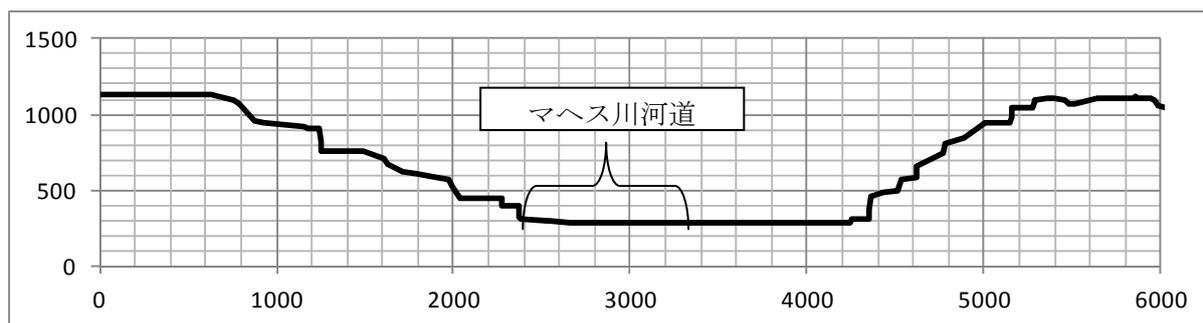


図-3.1.8-18 マヘス溪谷断面（河口から50km付近）

表-3.1.8-7 マヘス川上流で発生した土石流

No	河川名	キロポスト	状況
1	コソス 図-3.1.8-21 図-3.1.8-22	88km 付近	雨期には1ヶ月に1回程度土石流が発生し、市道を土砂が覆う。1日程度で復旧する。給水管も時々被災すること。
2	オンゴロ 図-3.1.8-23	103km 付近	1998年に土石流が発生し、2名の方が土砂に飲み込まれて死亡した。灌漑水路が被災し復旧に1ヶ月を要した。30分くらい前に山鳴りがして住民（8家族）は避難した。この8家族は現在が被災箇所に戻ってきて生活をしている。マヘス川本線は大きく河床上昇していないとのこと。灌漑水路の復旧はNGOが実施した。
3	サンフランシスコ 図-3.1.8-24	106km 付近	1998年に土石流が発生し、灌漑水路が被災した。仮復旧に1ヶ月本復旧に4年の月日を要した。土石流堆積土砂の高さは10m程度である。
4	ホロン 図-3.1.8-25	106km 付近	1998年に土石流が発生し、本線へ流れ込んだが、本線の流量が多くそのまま本線を流下した。土石流堆積土砂の高さは10m程度である。移動可能土砂は数10万～100万m ³ 残存している。

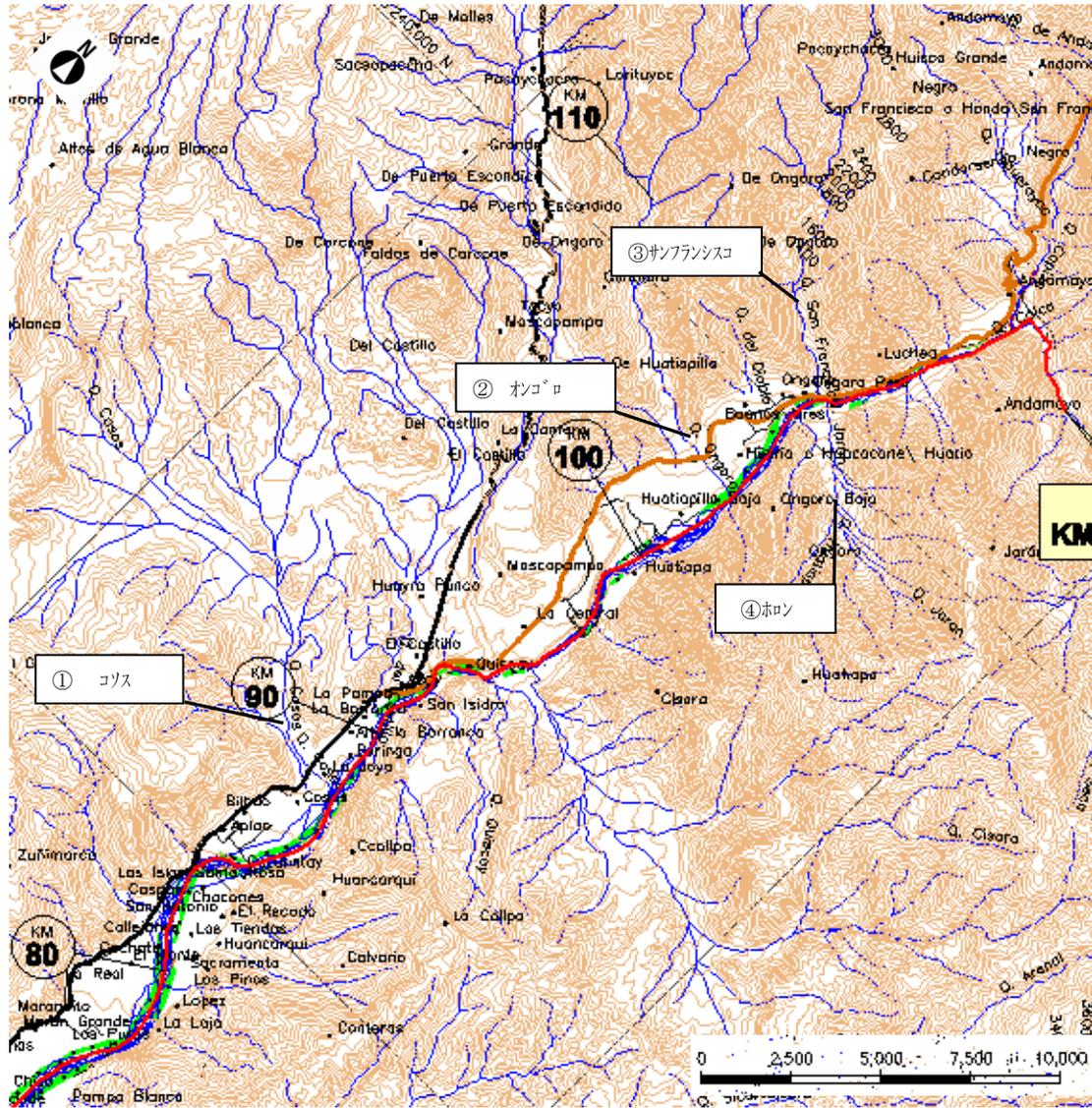


図-3.1.8-19 土石流発生位置図



図-3.1.8-20 60km 付近の状況 (幅 5km 程度の溪谷をなす)



図-3.1.8-21 コスス川の土砂堆積状況 (幅約 900m)



図-3.1.8-22 コソス川を通過する市道（雨期には土砂が市道を覆うが1日で復旧するとのこと）

図-3.1.8-23 オンゴロの状況（1998年土石流が発生し、2名が亡くなった）



図-3.1.8-24 サンフランシスコ川の土砂堆積状況（灌漑水路が土石流により被災した。道路側壁はその時の土石流堆積物）

図-3.1.8-25 ホロン川の状況（1998年土石流が本線に流れ込んだ）



図-3.1.8-26 河口から110km付近の状況（斜面からの河道への土砂流入は僅かであると推定できる）

図-3.1.8-27 カマナ川とアンダマヨ川の合流点（アンダマヨ川は放流路となっている）

2) 土砂災害と降水量の関係

マヘスーカマナ流域では1998年に土砂災害が多発している。このため、1998年の降雨がどの程度であったかを調査した。降雨データはサポーティングレポート Annex1 水文解析を参考にした。土石流が確認された地点に比較的近いに示す観測所(表-3.1.8-8)における、各観測所の確率年雨量および1998年の最大日雨量は表-3.1.8-9に示すとおりである。Chuquibambaでは150年確率程度の雨量が観測され、Pampacolcaでは25年確率雨量程度の雨量が観測されている。AplaoおよびHuamboでは2年確率雨量程度の雨量しか観測されていない。一般的に1982-83および1998年の大変強力なエルニーニョはほぼ50年間隔に出現しており²50年確率降雨程度の降雨で土砂災害が発生するものと判断した。

表-3.1.8-8 雨量を確認した観測所一覧

観測所	位置		
	緯度	経度	標高(m)
Aplao	16° 04'10	72° 29'26	625
Chuquibamba	15° 50'17	72° 38'55	2839
Huambo	15° 44'1	72° 06'1	3500
Pampacolca	15° 42'51	72° 34'3	2895

表-3.1.8-9 各観測所の確率雨量と1998年最大日雨量

観測所	確率年降雨							1998年の降雨
	2	5	10	25	50	100	200	
Aplao	1.71	5.03	7.26	9.51	10.71	11.56	12.14	1.20
Chuquibamba	21.65	36.96	47.09	59.89	69.39	78.82	88.21	82.00
Huambo	22.87	30.14	34.96	41.05	45.57	50.05	54.52	25.30
Pampacolca	21.13	29.11	34.40	41.08	46.04	50.95	55.86	42.40

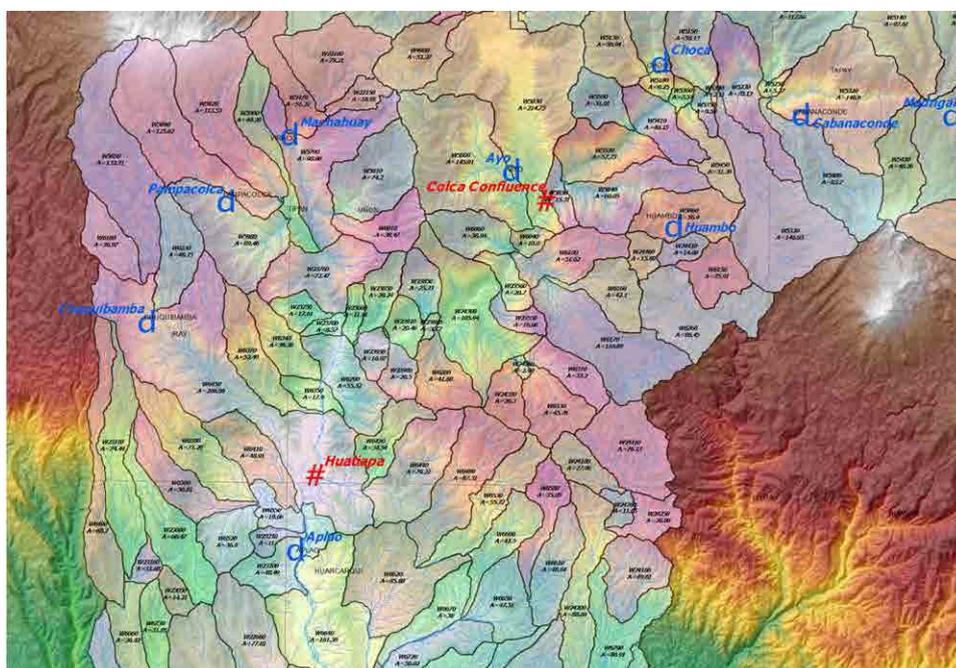


図-3.1.8-28 雨量観測所位置図

² Lorenzo Huertas DILUVIOS ANDINOS A TRAVÉS DE LAS FUENTES DOCUMENTALES - COLECCIÓN CLÁSICOS PERUANOS 05/2003

(4) 予測される土砂生産流出形態

要因（降雨・流量）の規模に応じた土砂生産流出が予見される。定量的な経過測量，比較検討を行っていないため，平常時、50年確率程度の降雨および大規模出水時での定性的な所見を以下に示す。

i) 平常時

平常時の土砂生産流出状態を図-3.1.8-29に示す。

- ・斜面からの土砂生産はほとんど見られない
- ・段丘面から崩落，脚部に堆積した崖錐に流水があたることによって土砂が生産，下流側へ流出する。
- ・河道内に残置されている中州の堆積土砂が小規模増水時に流路変更に伴い再移動，下流側へ押し出すの 패턴で土砂流出が発生すると考えられる。

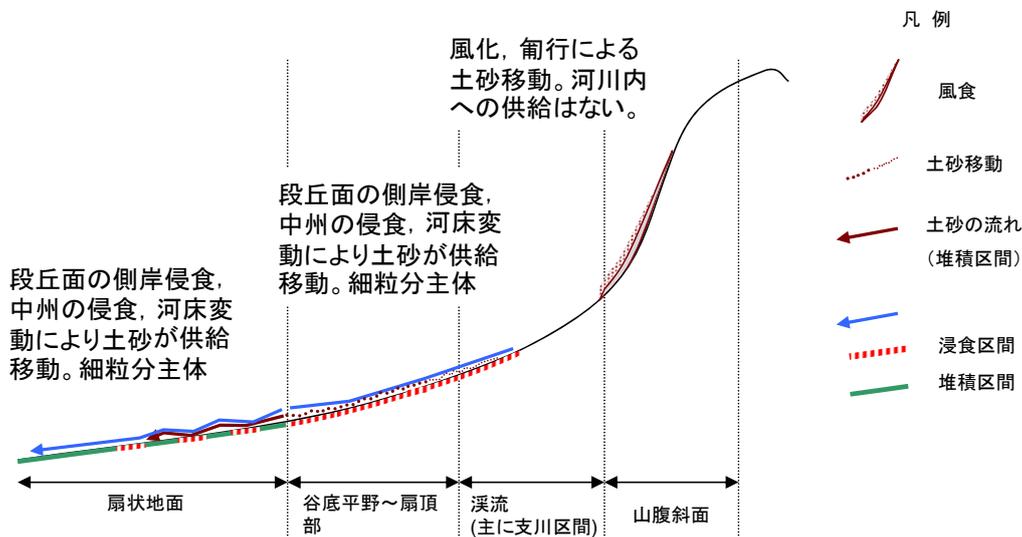


図-3.1.8-29 平常時の土砂生産流出の状態

出典：JICA 調査団により作成

ii) 50年確率降雨程度の豪雨

現地ヒアリングによればエルニーニョ年度には各支線から土石流が発生しているとのことであった。ただし、河道の土砂調節量が多く、下流への影響はあまりないものと推定される。エルニーニョ程度の豪雨における土砂生産流出状態を図-3.1.8-30に示す。斜面から水量に見合った量の土砂が流出する。

- ・支線から土石流が発生し本線へ流れ込む。
- ・河道の土砂調節量が多いため、下流への影響はあまりない。

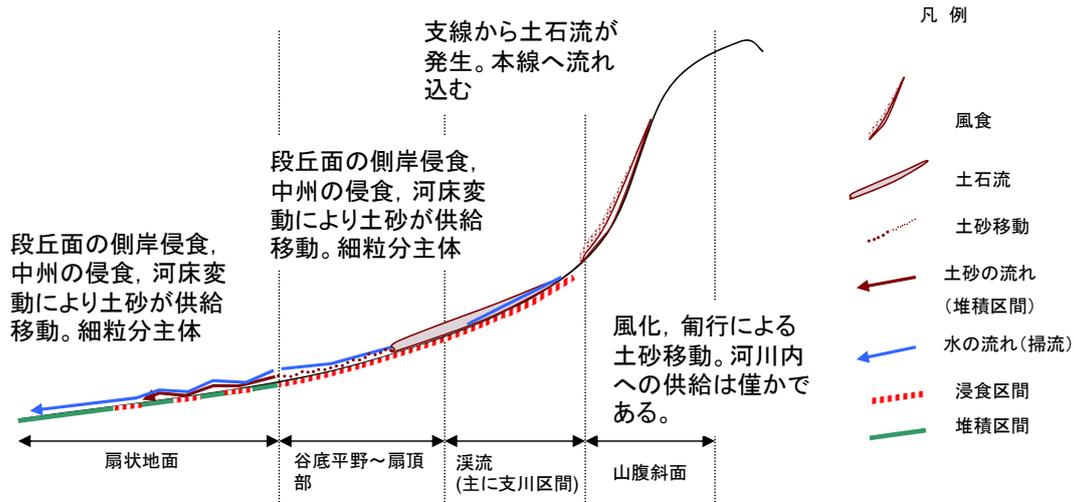


図-3.1.8-30 50年確率降雨程度の豪雨時における土砂生産流出の状態

出典： JICA 調査団により作成

iii)大規模出水時（現在の段丘面を形成するような出水）10,000年に1回程度

コスタ地方については、100年超過確率日降雨量は50mm程度である。そのため水による土砂移動がきわめて少ない状態である。しかしながら雨が少ない分、ひとたび豪雨が発生した場合、流水による土砂生産ポテンシャルは非常に高い状態にあるといえる。

およそ10,000年確率規模以上の低確率規模降雨が生じた場合、以下の土砂生産形態が発生すると考えられる(図-3.1.8-31参照)。

- ・ 斜面より水量に見合った量の土砂が流出する。
- ・ 崖錐や斜面脚部の過堆積土砂が水量見合い流出し、溪流や河道の閉塞を伴う土砂移動が発生
- ・ 河道閉塞後に発生する天然ダム決壊、中州の崩壊による土石流、土砂流の発生
- ・ 多量の土砂供給に伴う下流側での河道内堆積の増加と段丘の形成。
- ・ 扇面頂部～加積不足断面における河道変更を伴う氾濫

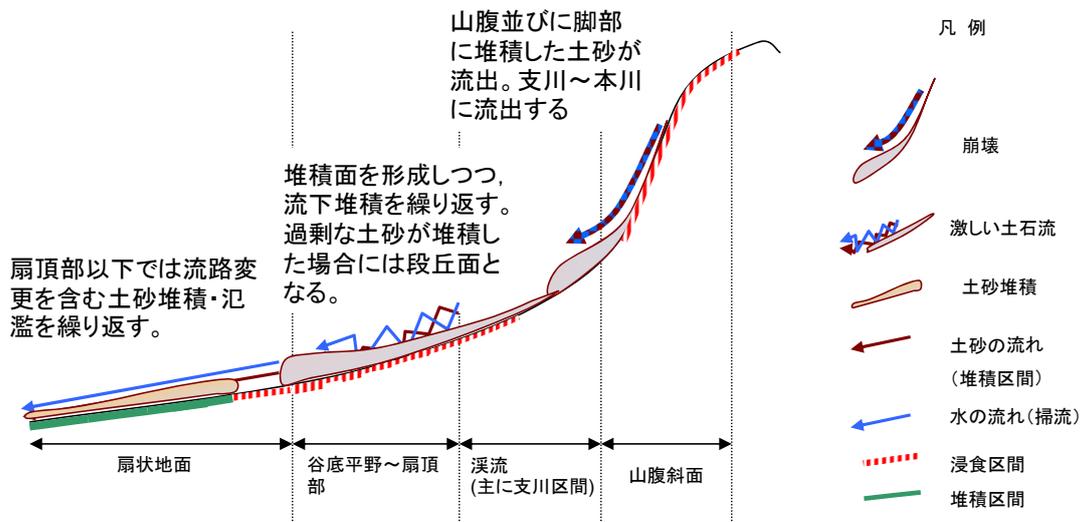


図-3.1.8-31 大規模出水時の土砂生産流出の状態（地質学的スケール）

出典： JICA 調査団により作成

(5) 本業務の対象範囲

本業務の対象範囲は、下図に示す通り 50 年確率降雨であり、支線からの土石流が発生する降雨に相当する。

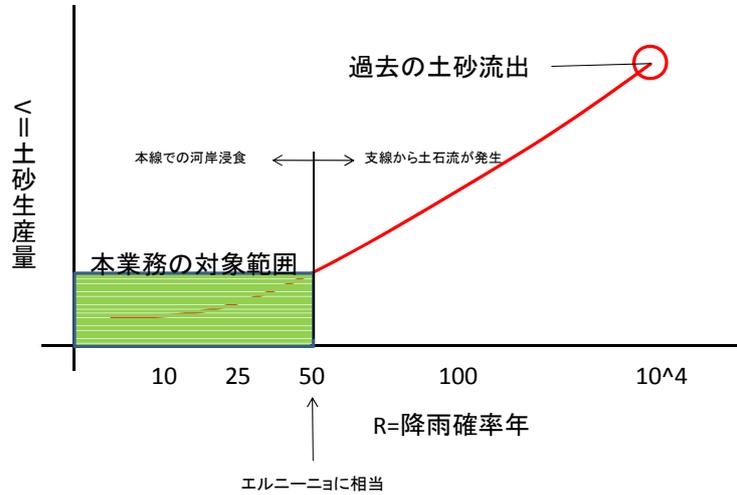


図-3.1.8-32 土砂生産量と確率降雨年の関係、および本業務の対象範囲

出典： JICA 調査団により作成

3.1.9 流出解析

(1) 降雨量データ

1) 降雨観測状況

流出解析に用いる降雨量の観測状況を把握するとともに、流出解析に必要な降雨データの収集および整理を行った。

降雨量データは、SENAMHI、ELECT.PERU より収集した。

①チラ川流域

降雨観測地点および観測データの収集期間を整理して表-3.1.9-1～2、図-3.1.9-1 に示す。チラ川流域ではこれまでに、14 箇所の観測所で雨量観測が行われており（現在未観測地点含む）、最長で 1964 年から 2010 年までの 47 年間観測が行われている。

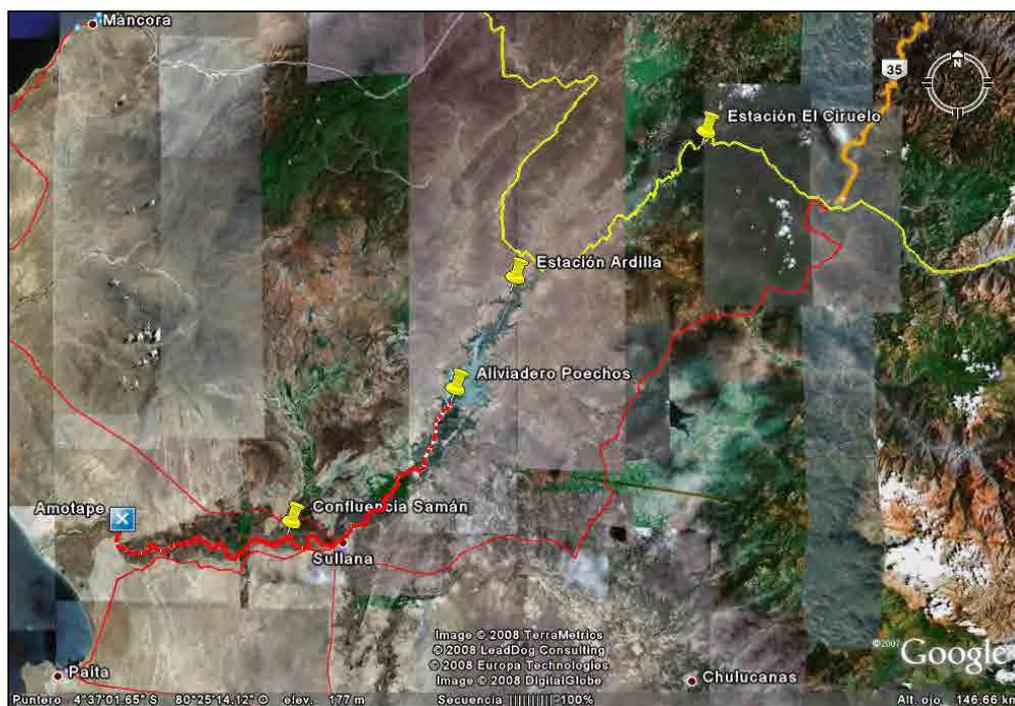


図-3.1.9-1 観測地点位置図（チラ川流域）

②カニエテ川流域

降雨観測地点および観測データの収集期間を整理して表-3.1.9-3～4、図-3.1.9-2 に示す。

チラ川流域ではこれまでに、13箇所の観測所で雨量観測が行われており（現在未観測地点含む）、最長で1964年から2010年までの47年間観測が行われている。

表-3.1.9-3 雨量観測地点一覧（カニエテ川流域）

コード	観測地点	県	経度	緯度
636	YAUYOS	LIMA	75° 54'38.2	12° 29'31.4
155450	Yauricocha	LIMA	75° 43'22.5	12° 19'0
155169	TOMAS	LIMA	75° 45'1	12° 14'1
156106	TANTA	LIMA	76° 01'1	12° 07'1
6230	SOCSI CAÑETE	LIMA	76° 11'40	13° 01'42
638	PACARAN	LIMA	76° 03'18.3	12° 51'43.4
6641	NICOLAS FRANCO SILVERA	LIMA	76° 05'17	12° 53'57
156112	HUANTAN	LIMA	75° 49'1	12° 27'1
156110	HUANGASCAR	LIMA	75° 50'2.2	12° 53'55.8
156107	COLONIA	LIMA	75° 53'1	12° 38'1
156109	CARANIA	LIMA	75° 52'20.7	12° 20'40.8
156104	AYAVIRI	LIMA	76° 08'1	12° 23'1
489	COSMOS	JUNIN	75° 34'1	12° 09'1

③チンチャ川流域

降雨観測地点および観測データの収集期間を整理して表-3.1.9-5～6、図-3.1.9-3 に示す。

チラ川流域ではこれまでに、14 箇所の観測所で雨量観測が行われており（現在未観測地点含む）、最長で 1980 年から 2010 年までの 31 年間観測が行われている。

表-3.1.9-5 雨量観測地点一覧（チンチャ川流域）

観測地点	コード	流域	分類	観測開始 年度	観測 年数	行政			地理的立地			担当機関	稼働 状況
						県	郡	町	緯度	経度	標高		
CONTA	203501	San Juan	H-Im	1922	80	Ica	Chincha	Chincha Alta	13°27'	75°58'	320	水利組合	稼働中
FONAGRO	130791	San Juan	MAP	1966	17	Ica	Chincha	Chincha Baja	13°28'	76°08'	50	気象庁 (SENAMHI)	稼働中
SAN JUAN DE CASTROVIRREYNA	156114	San Juan	PLU	1966	37	Huancavelica	Castrovirreyna	San Juan	13°12'	75°38'	2150	気象庁 (SENAMHI)	稼働中
SAN JUAN DE YANAC	156113	San Juan	PLU	1964	37	Ica	Chincha	Chavin	13°13'	75°47'	2400	気象庁 (SENAMHI)	稼働中
HUACHOS	151503	San Juan	PLU	1960	23	Huancavelica	Castrovirreyna	Huachos	13°14'	75°32'	2680	気象庁 (SENAMHI)	稼働中
VILLA DE ARMAS	110641	San Juan	CO	1964	27	Huancavelica	Castrovirreyna	Arma	13°08'	75°22'	3600	気象庁 (SENAMHI)	稼働中
SAN PEDRO DE HUACARPANA	156115	San Juan	CO	1964	34	Ica	Chincha	S.P.Huacarpa	13°03'	75°39'	3680	気象庁 (SENAMHI)	稼働中
LAGUNA HUICHIN	156129	San Juan	PLU	1960	18	Huancavelica	Castrovirreyna	Aurahua	13°02'	75°34'	3480	気象庁 (SENAMHI)	停止中
TANTARA	110633	San Juan	PLU	1960	18	Huancavelica	Castrovirreyna	Tantara	13°14'	75°37'		気象庁 (SENAMHI)	停止中
CHUNCHO	110631	Mantaro	PLU	1945	23	Lima	Yauyos	Tupe	12°45'	75°57'	4695	San Juan灌漑システム	停止中
BERNALES	110650	Pisco	CO	1964	39	Ica	Pisco	Humay	13°45'	75°57'	250	気象庁 (SENAMHI)	稼働中
HUANCANO	110639	Pisco	CO	1964	39	Ica	Pisco	Huancano	13°36'	76°37'	1006	気象庁 (SENAMHI)	稼働中
TICRAPO	110643	Pisco	PLU	1964	39	Huancavelica	Castrovirreyna	Ticrapo	13°23'	75°26'	2174	気象庁 (SENAMHI)	停止中
TOTORA	110644	Pisco	PLU	1964	39	Huancavelica	Castrovirreyna	Castrovirreyna	13°08'	75°19'	3900	気象庁 (SENAMHI)	停止中

H-Im:自動水量計測 MAP:農業用気象観測 PLU:雨量観測 CO:気候観測

表-3.1.9-6 雨量観測データ収集期間（チンチャ川流域）

	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010		
CHINCHA																																	
HUACHOS																																	
VILLA DE ARMAS																																	
CONTA																																	
FONAGRO (CHINCHA)																																	
SAN JUAN DE YANAC																																	
SAN PEDRO DE HUACARPANA																																	
SAN PEDRO DE HUACARPANA 2																																	
TOTORA																																	
TICRAPO																																	
COCAS																																	

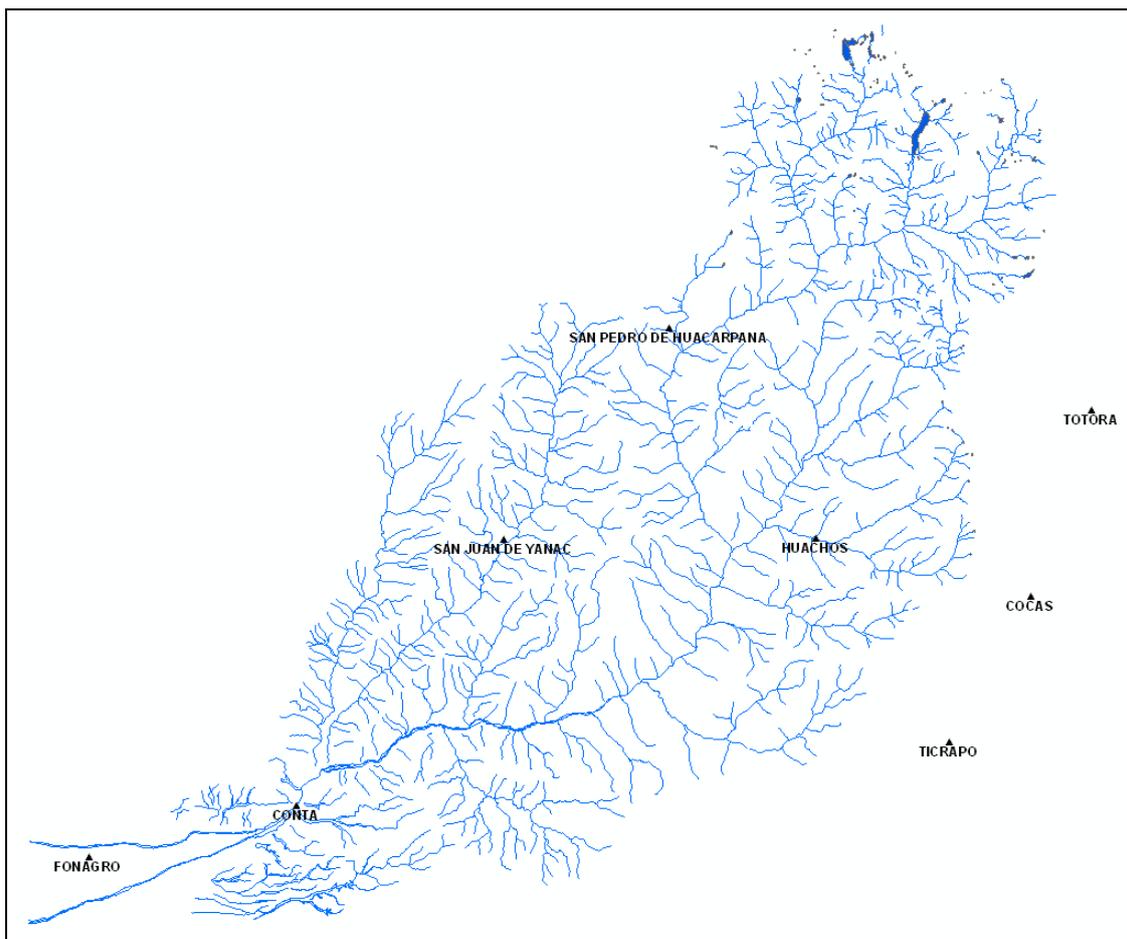


図-3.1.9-3 観測地点位置図 (チンチャ川流域)

④ピスコ川流域

降雨観測地点および観測データの収集期間を整理して表-3.1.9-7～8、図-3.1.9-4 に示す。

チラ川流域ではこれまでに、20箇所を観測所で雨量観測が行われており(現在未観測地点含む)、最長で1964年から2002年までの39年間観測が行われている。

表-3.1.9-7 雨量観測地点一覧 (ピスコ川流域)

観測地点	コード	分類	行政区分			地理的立地			観測期間
			県	郡	町	緯度	経度	標高	
Agnochocha	156141	CO	Huancavelica	Castrovirreyna	Pilpichaca	13°08′	75°09′	4650	1964-1989
Astobamba	155495	PLU	Huancavelica	Huancavelica	Huancavelica	12°57′	75°06′	4500	1964-1984
Bernales	157105	CO	Ica	Pisco	Humay	13°45′	75°57′	250	1972-1981,1984-1987, 1989-1991, 1993,1994, 1999-2002
Castrovirreyna	156145	CO	Huancavelica	Castrovirreyna	Castrovirreyna	13°17′	75°19′	3956	1964-1980
Choclococha	156130	PLU	Huancavelica	Castrovirreyna	Santa Ana	13°09′	75°04′	4550	1964-1983, 1985-2001
Chuncho	155269	PLU	Huancavelica	Castrovirreyna	Chuncho	12°45′	75°22′	3800	1945-1968
Cocas	156143	CO	Huancavelica	Castrovirreyna	Cocas	13°16′	75°22′	3246	1964-1979
Cusicancha	156121	PLU	Huancavelica	Castrovirreyna	S.A.Cusicancha	13°29′	75°18′	3550	1964-1986, 1988-2002
Fonagro	130791	IMAP	Ica	Chincha	Chincha Baja	13°28′	76°08′	50	1986-1990, 1995-2002
San Genaro	156129	PLU	Huancavelica	Castrovirreyna	Santa Ana	13°12′	75°06′	4570	1964-1975
Huamani	157107	CO	Ica	Ica	Los Molinos	13°50′	75°35′	800	1970-1984, 1987-1991, 1993,1994, 1999
Huancano	157103	CO	Ica	Pisco	Huancano	13°36′	75°37′	1006	1964, 1966-1976, 1978-1982, 1988, 1994, 1999-2002
Pariona	156131	PLU	Huancavelica	Castrovirreyna	Tambo	13°32′	75°04′	4240	1970-1982
Pisco	157106	S	Ica	Pisco	Pisco	13°45′	76°13′	7	1948-1969
San Juan	156114	PLU	Huancavelica	Castrovirreyna	Castrovirreyna	13°12′	75°37′	2200	1966-2002
Tambo	156122	PLU	Huancavelica	Castrovirreyna	Tambo	13°41′	75°16′	3080	1964-2002
Ticrapo	156117	PLU	Huancavelica	Castrovirreyna	Ticrapo	13°23′	75°26′	2174	1964-1988
Totora	156119	PLU	Huancavelica	Castrovirreyna	Castrovirreyna	13°08′	75°19′	3900	1964-1984, 1986-1988
Tunel Cero	156142	CO	Huancavelica	Castrovirreyna	Pilpichaca	13°15′	75°05′	4425	1964-2002
Pampa de Villacuri	157108	CO	Ica	Pisco	Pisco	13°57′	75°48′	430	1971, 1972, 1975, 1984-1986, 1991

CO:気候観測 S:総合的气象観測 PLU:雨量観測 IMAP:農業用気象観測

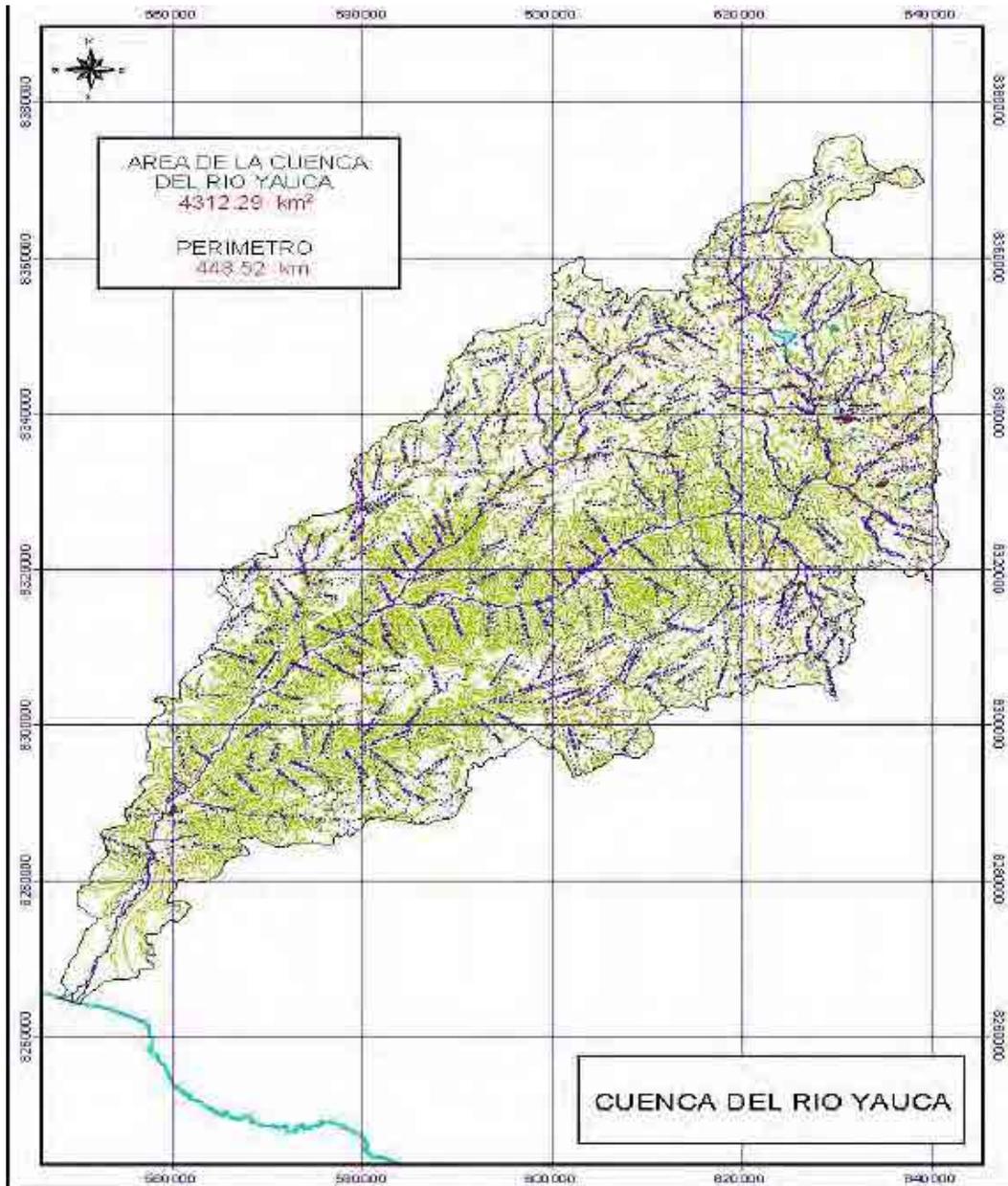


図-3.1.9-5 観測地点位置図 (ヤウカ川流域)

⑥マヘス/カマナ川流域

降雨観測地点および観測データの収集期間を整理して表-3.1.9-11～12、図-3.1.9-6 に示す。マヘス/カマナ川流域周辺ではこれまでに、48 箇所の観測所で雨量観測が行われている（現在未観測地点含む）。観測は 1964 年から行われている。なお、観測所によっては欠測期間が長いなど、データの収集精度が劣る地点があった。そこで、流出解析はデータの収集精度が比較的良好な表-3.1.9-11 に示す 38 地点のデータを用いて行った。

表-3.1.9-11 雨量観測地点一覧（マヘス/カマナ川流域）

Weather Station	Coordinates		
	Latitude	Longitude	Altitude (masl)
Andahua	15° 29'37	72° 20'57	3538
Aplao	16° 04'10	72° 29'26	625
Ayo	15° 40'45	72° 16'13	1950
Cabanaconde	15° 37'7	71° 58'7	3369
Camaná	16° 36'24	72° 41'49	29
Caravelí	15° 46'17	73° 21'42	1757
Chachas	15° 29'56	72° 16'2	3130
Chichas	15° 32'41	72° 54'59.7	2120
Chiguata	16° 24'1	71° 24'1	2945
Chinchayllapa	14° 55'1	72° 44'1	4514
Chivay	15° 38'17	71° 35'49	3663
Choco	15° 34'1	72° 07'1	3160
Chuquibamba	15° 50'17	72° 38'55	2839
Cotahuasi	15° 22'29	72° 53'28	5086
Crucero Alto	15° 46'1	70° 55'1	4486
El Frayle	16° 05'5	71° 11'14	4110
Huambo	15° 44'1	72° 06'1	3500
Imata	15° 50'12	71° 05'16	4451
La Angostura	15° 10'47	71° 38'58	4260
La Joya	16°35'33	71°55'9	1279
La Pampilla	16° 24'12.2	71° 31'6	2388
Lagunillas	15° 46'46	70° 39'38	4385
Las Salinas	16° 19'5	71° 08'54	3369
Machahuay	15° 38'43	72° 30'8	3000
Madrigal	15° 36'59.7	71° 48'42	3238
Orcopampa	15° 15'39	72° 20'20	3805
Pampa de Arrieros	16° 03'48	71° 35'21	3720
Pampa de Majes	16° 19'40	72° 12'39	1442
Pampacolca	15° 42'51	72° 34'3	2895
Pampahuta	15° 29'1	70° 40'33.3	4317
Pillones	15° 58'44	71° 12'49	4428
Porpera	15° 21'1	71° 19'1	4142
Pullhuay	15° 09'1	72° 46'1	3098
Salamanca	15° 30'1	72° 50'1	3153
Sibayo	15° 29'8	71° 27'11	3839
Sumbay	15° 59'1	71° 22'1	4300
Tisco	15° 21'1	71° 27'1	4198
Yanaquihua	15° 46'59.8	72° 52'57	2834

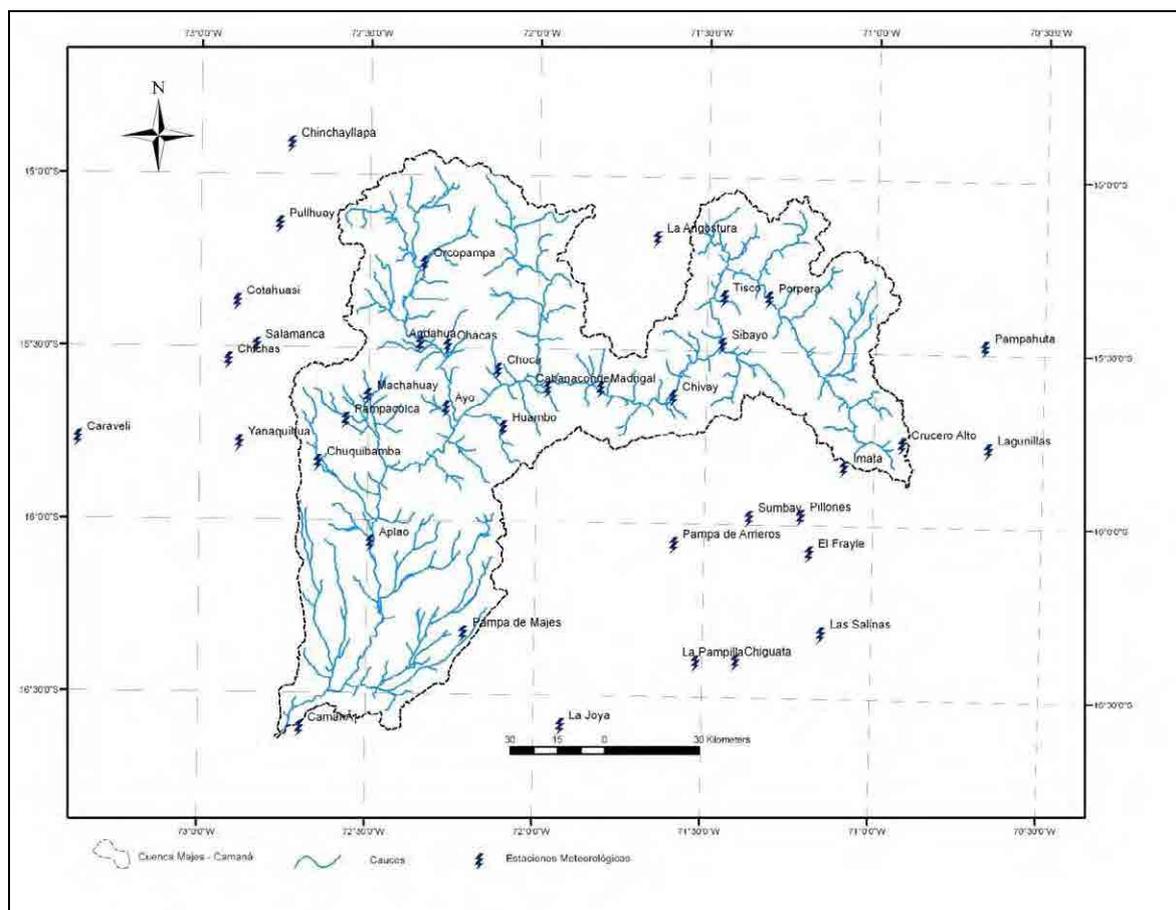


図-3.1.9-6 観測地点位置図（マヘス/カマナ川流域）

2) 等雨量線図

観測された 1965 年から 1974 年の降雨データを基に SENAMHI により作成された年降雨量（10 年平均値）の等雨量線図を各流域毎に示す。

① チラ川流域

チラ川流域の等雨量線図を図-3.1.9-7 に示す。

チラ川流域では、地域によって年降雨量に大きな開きがあり、最も少ない地域で 50mm 程度以下、最大で 1000mm 程度の降雨量を記録している。下流域ほど降雨量が少なく、標高が高くなる上流域ほど降雨量が多くなる。

洪水対策を行う下流域での年降雨量は 50～200mm 程度とそれほど多くは無いが、今回検討を行っている 6 流域の中では、下流域の降雨量はもっとも多い流域である。

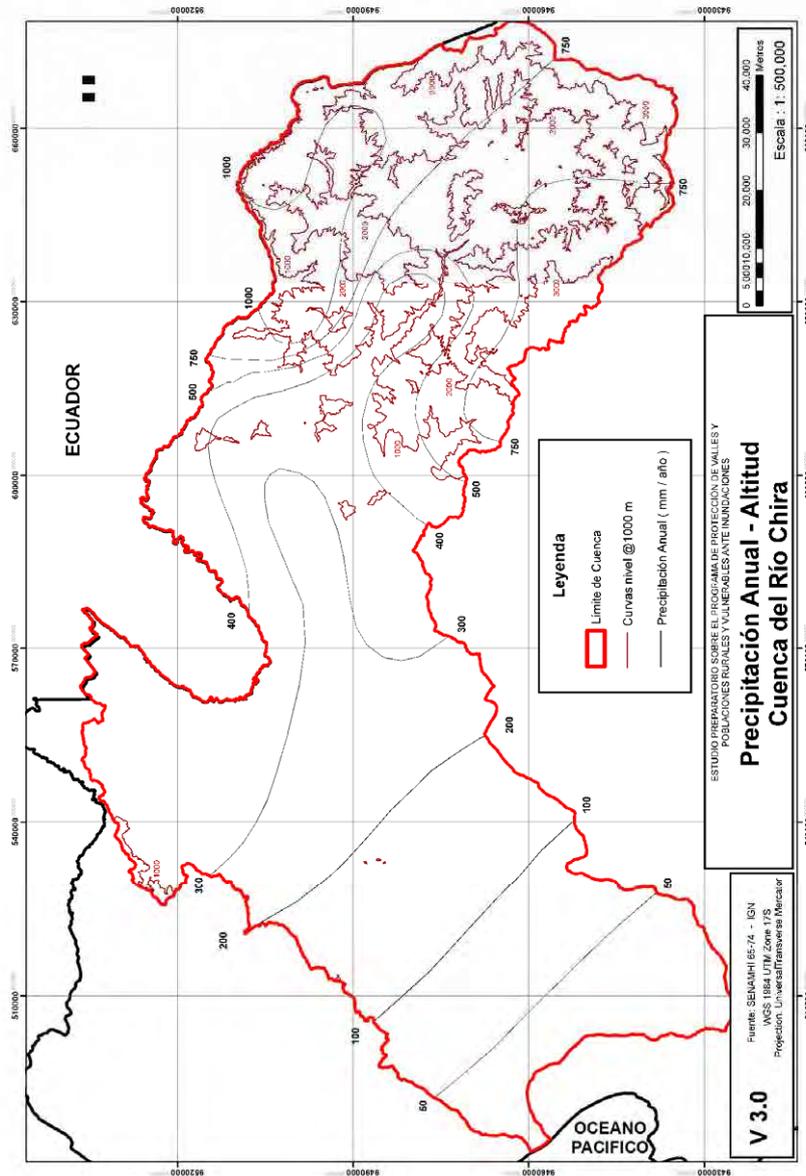


図-3.1.9-7 等雨量線図 (チラ川流域)

② カニエテ川流域

カニエテ川流域の等雨量線図を図-3.1.9-8 に示す。

チラ川流域では、地域によって年降雨量に大きな開きがあり、最も少ない地域で 25mm 程度以下、最大で 750mm 程度の降雨量を記録している。下流域ほど降雨量が少なく、標高が高くなる上流域ほど降雨量が多くなる。

洪水対策を行う下流域での年降雨量は 25～50mm 程度と降雨量は少ない。

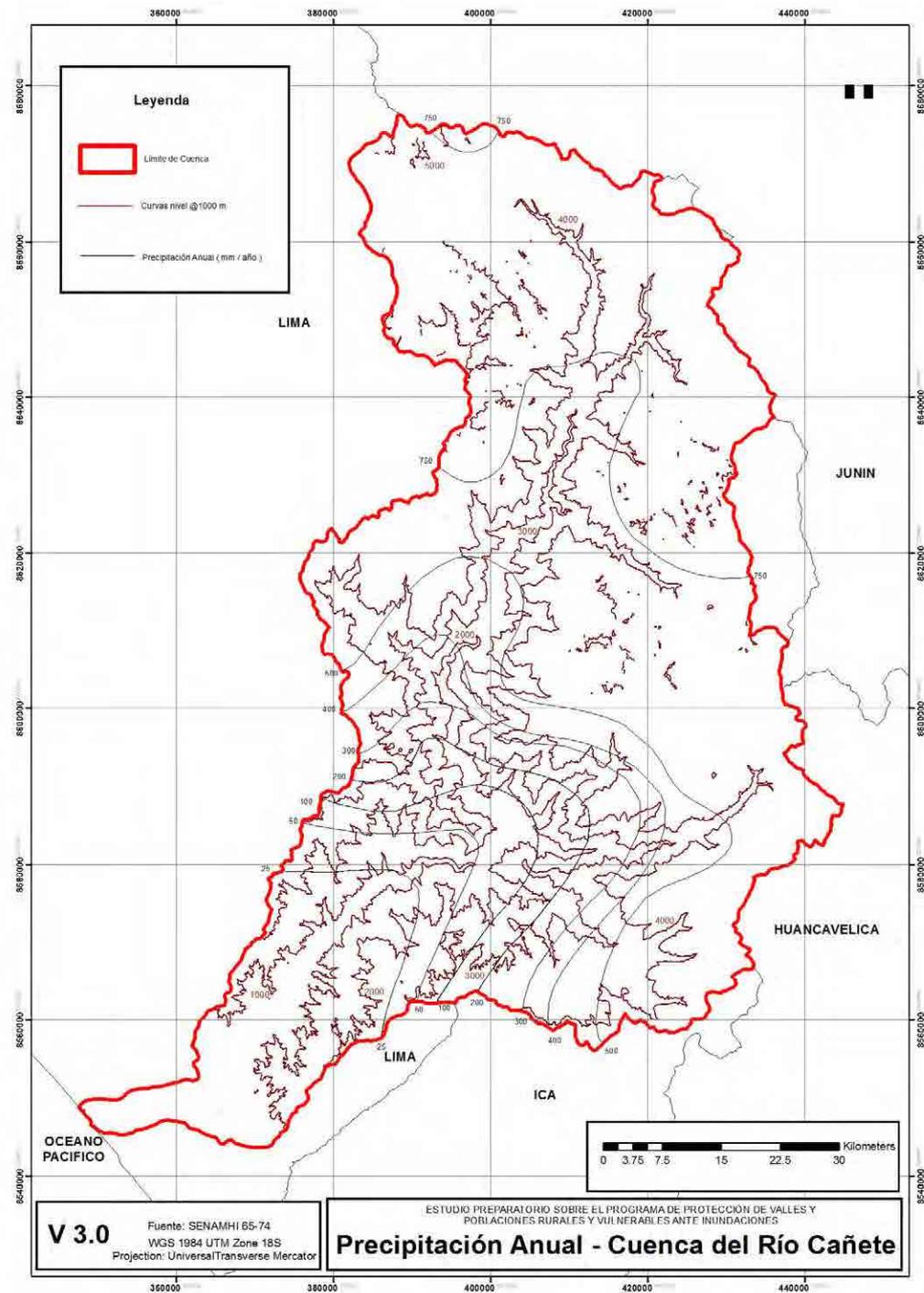


図-3.1.9-8 等雨量線図 (カニエテ川流域)

③ チンチャ川流域

チンチャ川流域の等雨量線図を図-3.1.9-9 に示す。

チンチャ川流域では、地域によって年降雨量に大きな開きがあり、最も少ない地域で 25mm 程度以下、最大で 900mm 程度の降雨量を記録している。下流域ほど降雨量が少なく、標高が高くなる上流域ほど降雨量が多くなる。

洪水対策を行う下流域での年降雨量は 25mm 程度とほとんど降雨量はない。

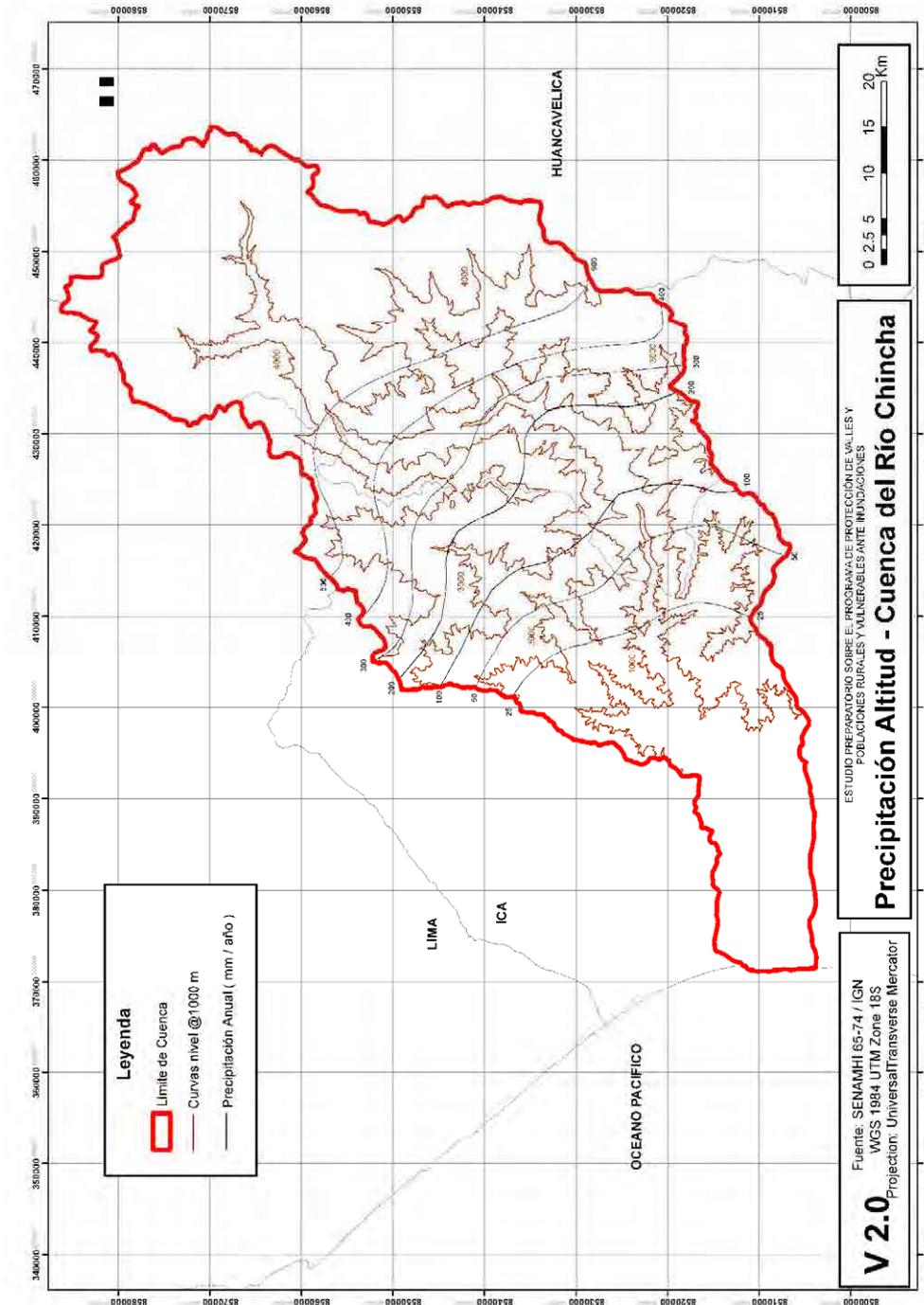


図-3.1.9-9 等雨量線図 (チンチャ川流域)

④ ピスコ川流域

ピスコ川流域の等雨量線図を図-3.1.9-10 に示す。

ピスコ川流域では、地域によって年降雨量に大きな開きがあり、最も少ない地域で 25mm 程度以下、最大で 750mm 程度の降雨量を記録している。下流域ほど降雨量が少なく、標高が高くなる上流域ほど降雨量が多くなる。

洪水対策を行う下流域での年降雨量は 25～50mm 程度と降雨量は少ない。

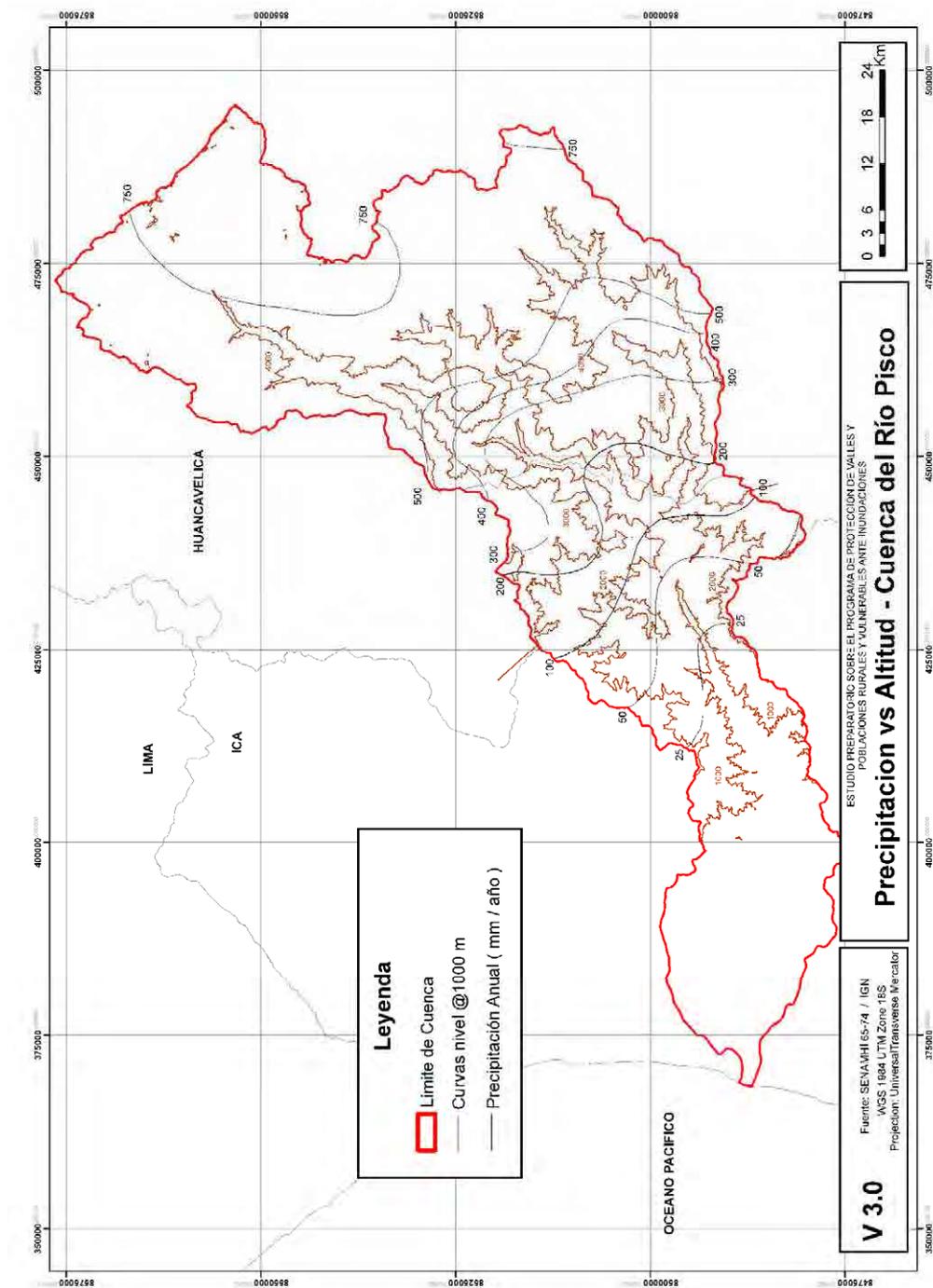


図-3.1.9-10 等雨量線図（ピスコ川流域）

⑤ ヤウカ川流域

ヤウカ川流域の等雨量線図を図-3.1.9-11 に示す。

ピスコ川流域では、地域によって年降雨量に大きな開きがあり、最も少ない地域で 25mm 程度以下、最大で 750mm 程度の降雨量を記録している。下流域ほど降雨量が少なく、標高が高くなる上流域ほど降雨量が多くなる。

洪水対策を行う下流域での年降雨量は 25～50mm 程度と降雨量は少ない。

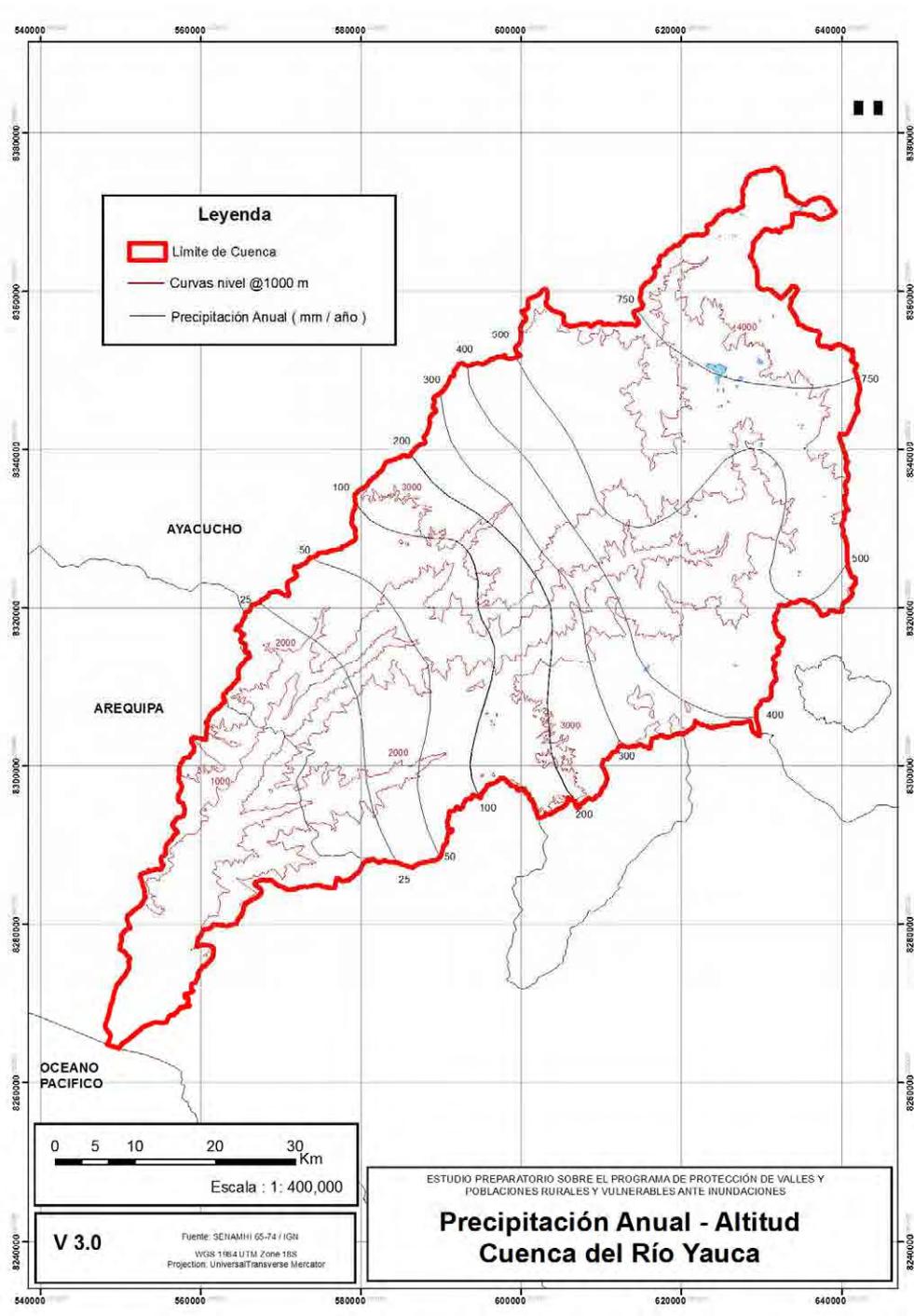


図-3.1.9-11 等雨量線図 (ヤウカ川流域)

⑥ マヘス/カマナ川流域

マヘス/カマナ川流域の等雨量線図を図-3.1.9-12 に示す。

カマナ/マヘス川流域では、地域によって年降雨量に大きな開きがあり、最も少ない地域で 50mm 程度、最大で 750mm 程度の降雨量を記録している。太平洋に近く標高が低い下流域ほど降雨量が少なく、標高が高くなる上流域ほど降雨量が多くなる。

洪水対策を行う下流域での年降雨量は 50~200mm 程度と降雨量は多くない。

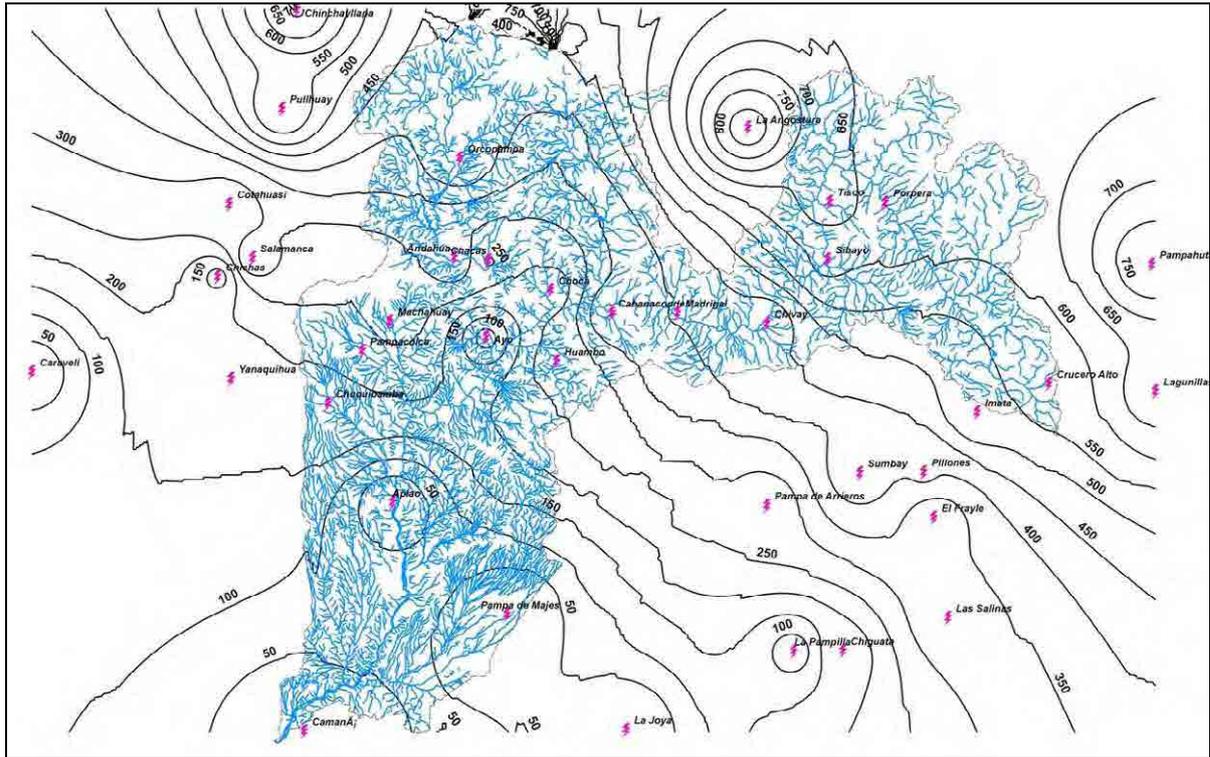


図-3.1.9-12 等雨量線図 (マヘス/カマナ川流域)

(2) 降雨量解析

1) 解析手法

各観測所から収集した降雨データを用いて水文統計計算を行い、各観測所の確率 24 時間降雨量の算出を行った。

水文統計計算は、複数の確率分布モデルを用いて行い、適応性が最も高いモデルを採用し、そのモデルでの計算結果を確率 24 時間降雨量とした。

なお、水文統計に用いたモデルは下記のとおりである。

- Distribution Normal or Gaussian
- 対数正規分布 3 母数(Log - Normal 3 parameters)
- 対数正規分布 2 母数(Log - Normal 2 parameters)
- ガンマー分布(Gamma 2 or 3 parameters)
- 対数ピアソンⅢ型分布(the log - Pearson III)
- ガンベル分布(Gumbel)
- 一般化極値分布(Generalized Extreme Values)

2) 確率雨量解析結果

各観測所および各流域の基準地点における確率雨量を整理して下記に示す。

各流域の確率 50 年雨量を比較すると、チラ川を除く 5 流域では、各観測所の確率 50 年雨量は数 10mm つまり 100mm 以下の降雨量であるが、チラ川流域の観測所の場合、100mm 以上で最大 339mm となっており、チラ川流域が他の流域より降雨量が多いことがわかる。その傾向は、

等雨量線図からも読み取ることができる。

① チラ川流域

各観測地点の確率 24 時間雨量を表-3.1.9-13 に示すととも確率 50 年雨量の等雨量線図を図-3.1.9-13 に示す。

表-3.1.9-13 確率 24 時間雨量 (チラ川流域)

No.	観測地点	標高 (msnm)	記録数	確率 (年)					記録	分布特性
				25	50	100	500			
1	Morropon	172	10	134.61	156.52	178.27	228.53	90.40	Gumbel	
2	Malacasi	128	9	287.06	339.22	390.99	510.63	251.20	Gumbel	
3	Virrey	230	27	231.55	290.51	347.08	464.48	230.70	Log Pearson III	
4	Chignia	360	19	146.24	170.47	194.53	250.12	164.40	Gumbel	
5	Barrios	310	19	135.34	153.85	172.23	214.69	119.70	Gumbel	
6	Huarmaca	2,180	43	112.54	126.56	140.48	172.64	111.40	Gumbel	
7	Canchaque	1,200	19	164.56	189.45	214.16	271.27	137.30	Gumbel	

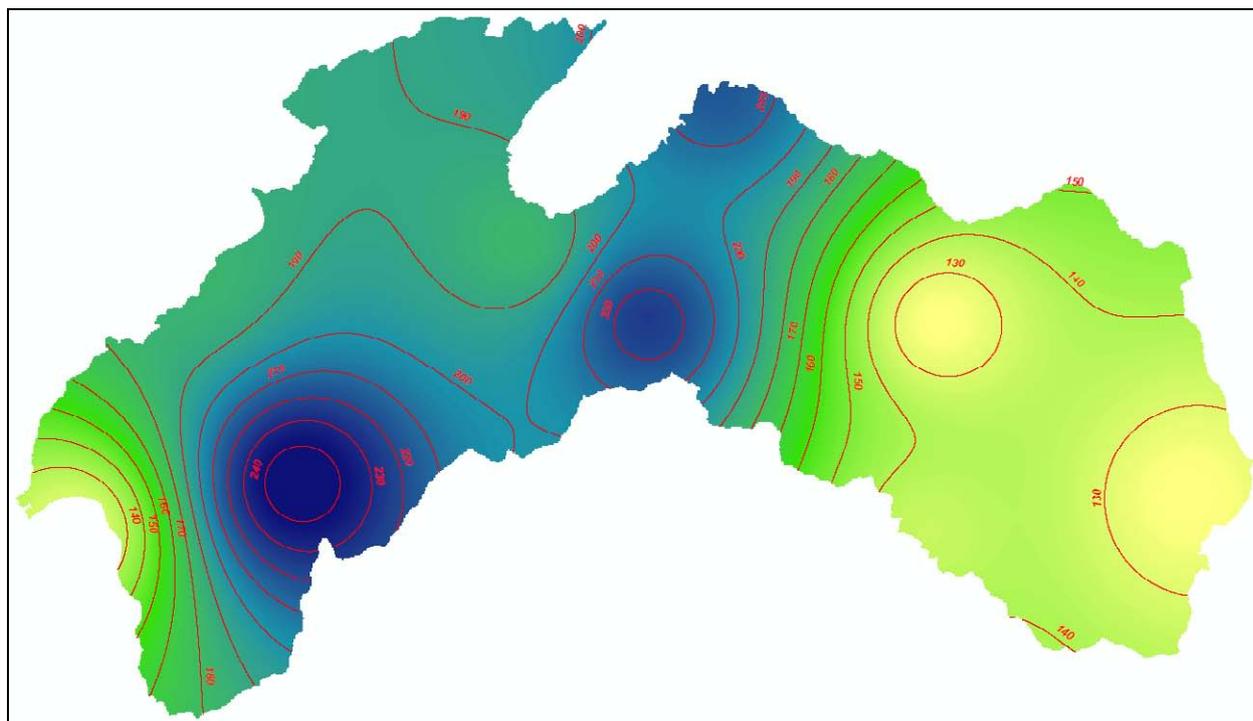


図-3.1.9-13 確率 50 年雨量等雨量線図 (チラ川流域)

② カニエテ川流域

各観測地点および基準地点(Station Socsi)の確率 24 時間雨量を表-3.1.9-14,-15 に示すととも確率 50 年雨量の等雨量線図を図-3.1.9-14 に示す。また、基準地点のハイエイトを表-3.1.9-16 に示す。

す。

表-3.1.9-14 確率 24 時間雨量 (カニエテ川流域)

観測地点名	確率(年)						
	確率_2年	確率_5年	確率_10年	確率_25年	確率_50年	確率_100年	確率_200年
AYAVIRI	29.0	35.0	37.0	39.0	40.0	41.0	42.0
CARANIA	18.0	23.0	27.0	33.0	39.0	45.0	52.0
COLONIA	21.0	30.0	37.0	48.0	56.0	66.0	77.0
COSMOS	23.0	31.0	35.0	40.0	43.0	45.0	47.0
HUANGASCAR	20.0	29.0	35.0	44.0	51.0	59.0	67.0
HUANTAN	30.0	40.0	48.0	58.0	66.0	75.0	84.0
PACARAN	4.0	7.0	9.0	12.0	15.0	18.0	21.0
SOCSI CAÑETE	0.0	1.0	2.0	4.0	7.0	12.0	21.0
TANTA	23.0	32.0	38.0	46.0	52.0	58.0	65.0
TOMAS	14.0	18.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0
YAURICOCHA	27.0	36.0	43.0	54.0	64.0	75.0	88.0
YAUYOS	18.0	23.0	27.0	31.0	34.0	37.0	40.0

表-3.1.9-15 確率 24 時間雨量 (基準地点 : Station Socsi)

年	24 時間最大雨量 [mm]
5	25.5
10	30.3
25	37.3
50	43.1
100	49.4

表-3.1.9-16 確率雨量別ハイエイト

年	時間										総雨量 [mm]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
5	1	2	3	4	3	3	2	2	1	1	23
10	1	2	4	5	4	3	3	2	2	1	27.4
25	2	3	4	6	5	4	3	3	2	1	33.7
50	2	4	5	7	5	5	4	3	2	2	38.9
100	2	4	6	8	6	5	4	4	3	2	44.6

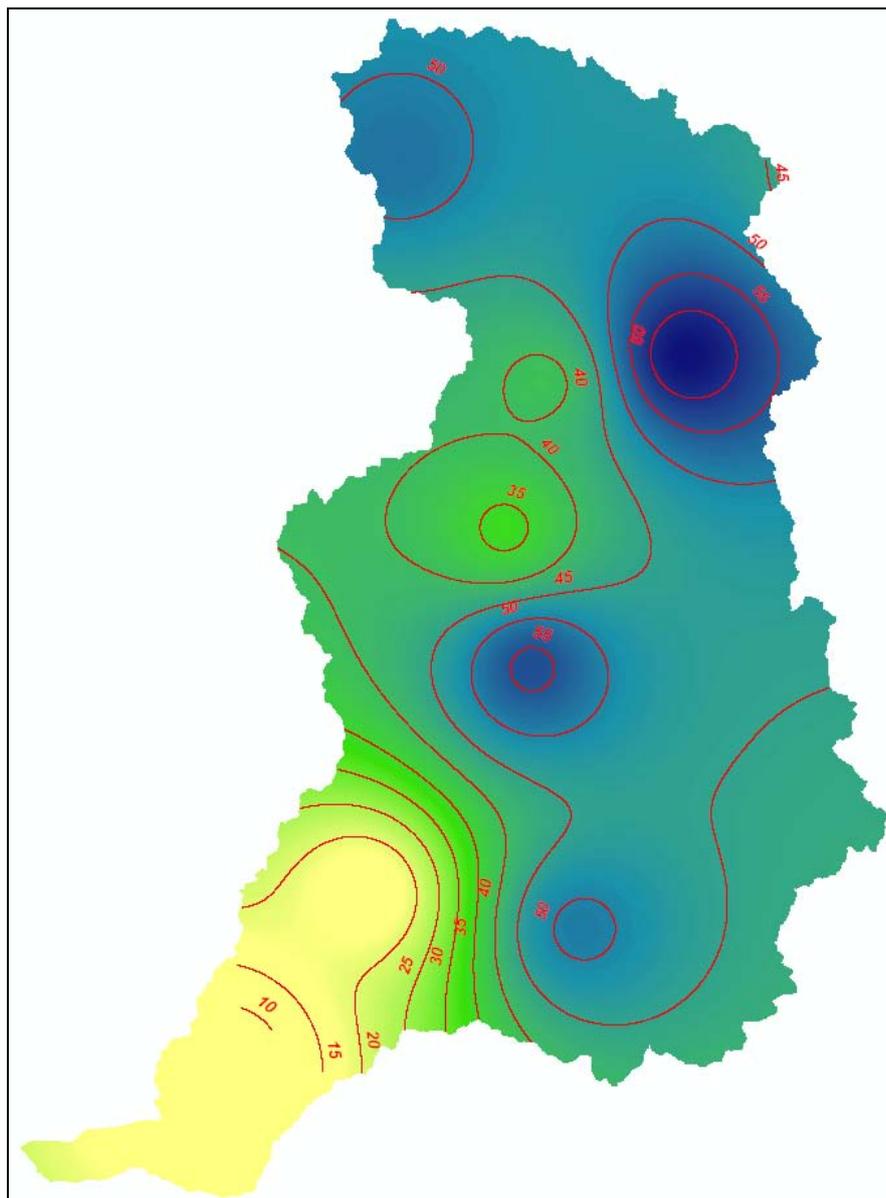


図-3.1.9-14 確率50年雨量等雨量線図（カニエテ流域）

③ チンチャ川流域

各観測地点および基準地点(Station Conta)の確率24時間雨量を表-3.1.9-17,-18に示すとともに確率50年雨量の等雨量線図を図-3.1.9-15に示す。また、基準地点のハイエイトを表-3.1.9-19に示す。

表-3.1.9-17 確率 24 時間雨量 (チンチャ川流域)

観測地点名	確率 (年)						
	確率_2 年	確率_5 年	確率_10 年	確率_25 年	確率_50 年	確率_100年	確率_200年
COCAS	22.0	30.0	34.0	38.0	40.0	42.0	43.0
CONTA	1.0	2.0	4.0	6.0	9.0	13.0	18.0
FONAGRO	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	7.0	8.0
HUACHOS	24.0	31.0	36.0	42.0	48.0	53.0	59.0
CHINCHA DE YANAC	11.0	18.0	23.0	30.0	34.0	39.0	44.0
SAN PEDRO DE HUACARPANA	23.0	29.0	32.0	35.0	36.0	37.0	38.0
TICRAPO	20.0	31.0	37.0	45.0	50.0	55.0	60.0
TOTORA	24.0	29.0	32.0	36.0	38.0	40.0	42.0

表-3.1.9-18 確率 24 時間雨量 (基準地点 : Station Conta)

年	24 時間最大雨量 [mm]
5	23.40
10	27.39
25	32.22
50	35.56
100	39.06

表-3.1.9-19 確率雨量別ハイエイト

年	時間										総雨量 [mm]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
5	1	2	2	4	3	2	2	2	1	1	19
10	1	2	3	4	3	3	2	2	1	1	22.0
25	1	2	3	5	4	3	3	2	2	1	25.9
50	1	3	4	5	4	3	3	2	2	1	28.6
100	2	3	4	6	4	4	3	3	2	1	31.4

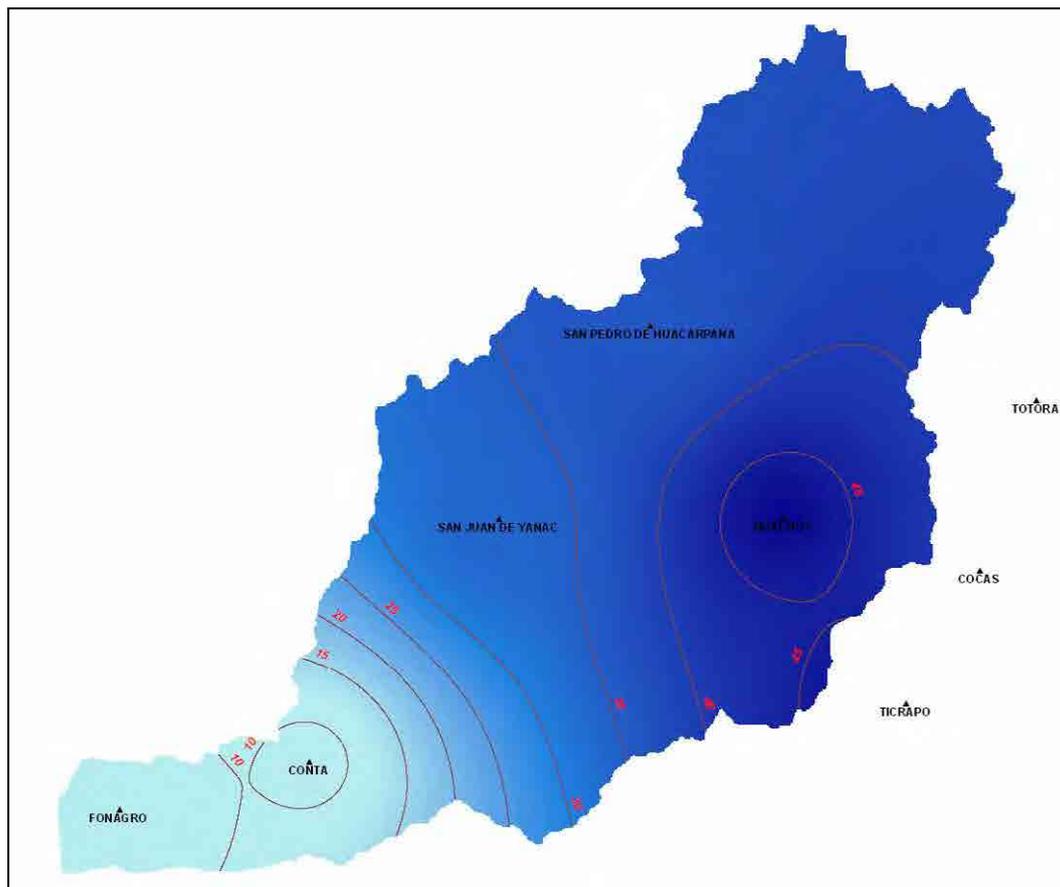


図-3.1.9-15 確率 50 年雨量等雨量線図 (チンチャ川流域)

④ ピスコ川流域

各観測地点および基準地点(Station Letrayoc)の確率 24 時間雨量を表-3.1.9-20,-21 に示すとともに確率 50 年雨量の等雨量線図を図-3.1.9-16 に示す。また、基準地点のハイエイトを表-3.1.9-22 に示す。

表-3.1.9-20 確率 24 時間雨量 (ピスコ川流域)

観測地点名	確率 (年)						
	確率 2 年	確率 5 年	確率 10 年	確率 25 年	確率 50 年	確率 100 年	確率 200 年
ACNOCOCHA	27.0	30.0	32.0	34.0	35.0	36.0	37.0
CHOCLOCOCHA	30.0	43.0	51.0	60.0	66.0	71.0	76.0
COCAS	22.0	30.0	34.0	38.0	40.0	42.0	43.0
CUSICANCHA	19.0	26.0	29.0	33.0	35.0	37.0	39.0
HACIENDA BERNALES	0.0	1.0	3.0	6.0	11.0	19.0	34.0
HUAMANI	2.0	7.0	13.0	25.0	39.0	61.0	93.0
PARIONA	33.0	40.0	43.0	46.0	48.0	49.0	50.0
SAN JUAN DE CASTROVIRREYNA	17.0	23.0	29.0	36.0	42.0	49.0	56.0
TAMBO	26.0	35.0	40.0	46.0	49.0	52.0	55.0
TICRAPO	20.0	31.0	37.0	45.0	50.0	55.0	60.0
TOTORA	24.0	29.0	32.0	36.0	38.0	40.0	42.0
TUNEL CERO	29.0	36.0	41.0	48.0	54.0	61.0	67.0

表-3.1.9-21 確率 24 時間雨量 (基準地点 : Station Letrayoc)

年	24 時間最大雨量 (mm)
5	28.90
10	33.23
25	38.78
50	42.59
100	46.92

表-3.1.9-22 確率雨量別ハイエイト

年	時間										総雨量(mm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
5	1	2	3	4	3	3	2	2	1	1	22.6
10	1	2	3	5	4	3	3	2	2	1	26.0
25	2	3	4	6	4	4	3	2	2	1	30.3
50	2	3	4	6	5	4	3	3	2	1	33.3
100	2	3	5	7	5	4	4	3	2	1	36.7

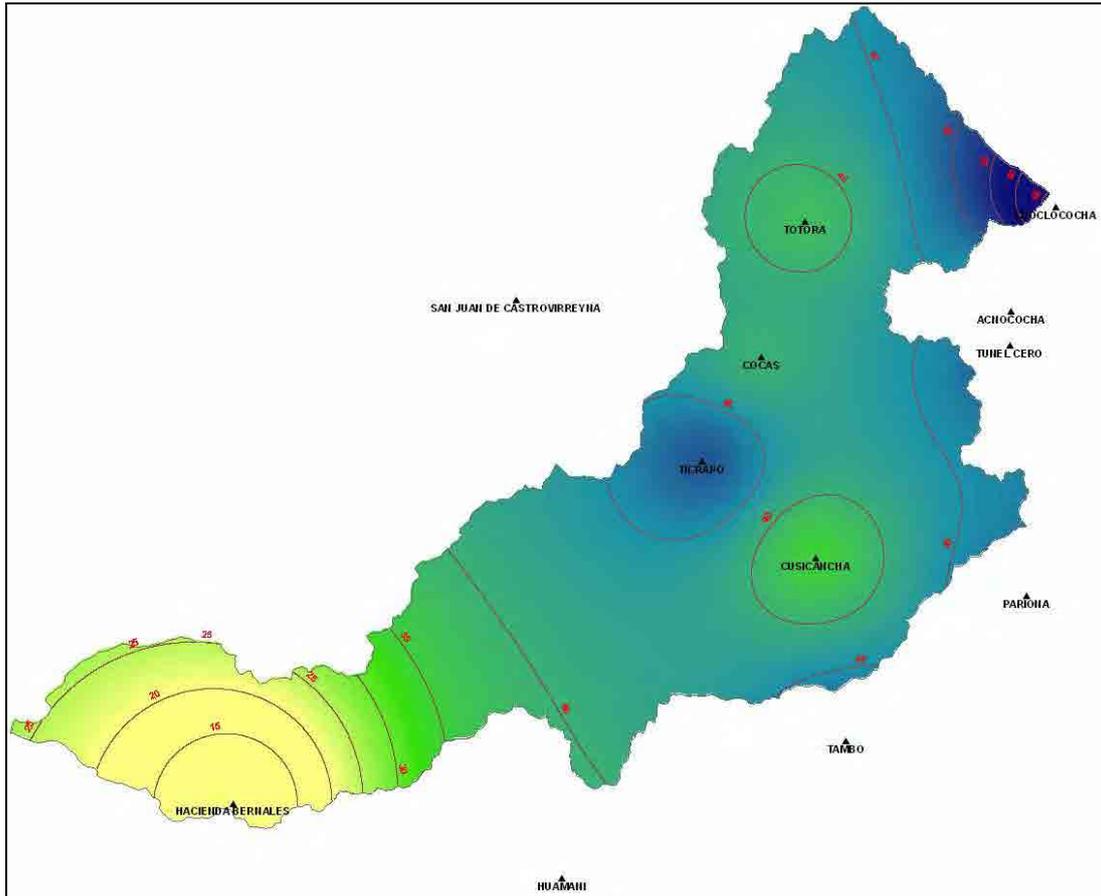


図-3.1.9-16 確率 50 年雨量等雨量線図 (ピスコ川流域)

⑤ ヤウカ川流域

各観測地点および基準地点(Station San Francisco Alto)の確率 24 時間雨量を表-3.1.9-23,-24 に示すとともに確率 50 年雨量の等雨量線図を図-3.1.9-17 に示す。また、基準地点のハイエイトを表-3.1.9-25 に示す。

表-3.1.9-23 確率 24 時間雨量 (ヤウカ川流域)

観測地点名	確率(年)						
	確率 2 年	確率 5 年	確率 10 年	確率 25 年	確率 50 年	確率 100 年	確率 200 年
CARHUANILLAS	26.0	42.0	54.0	70.0	84.0	98.0	114.0
CHAVIÑA	32.0	42.0	48.0	54.0	59.0	62.0	66.0
CORA CORA	28.0	36.0	41.0	46.0	49.0	52.0	54.0
SANCOS	34.0	48.0	57.0	67.0	74.0	80.0	86.0
TARCO	20.0	32.0	41.0	54.0	65.0	77.0	91.0

表-3.1.9-24 確率 24 時間雨量 (基準地点 : Station San Francisco Alto)

年	24 時間最大雨量 (mm)
5	28
10	33
25	39
50	45
100	50

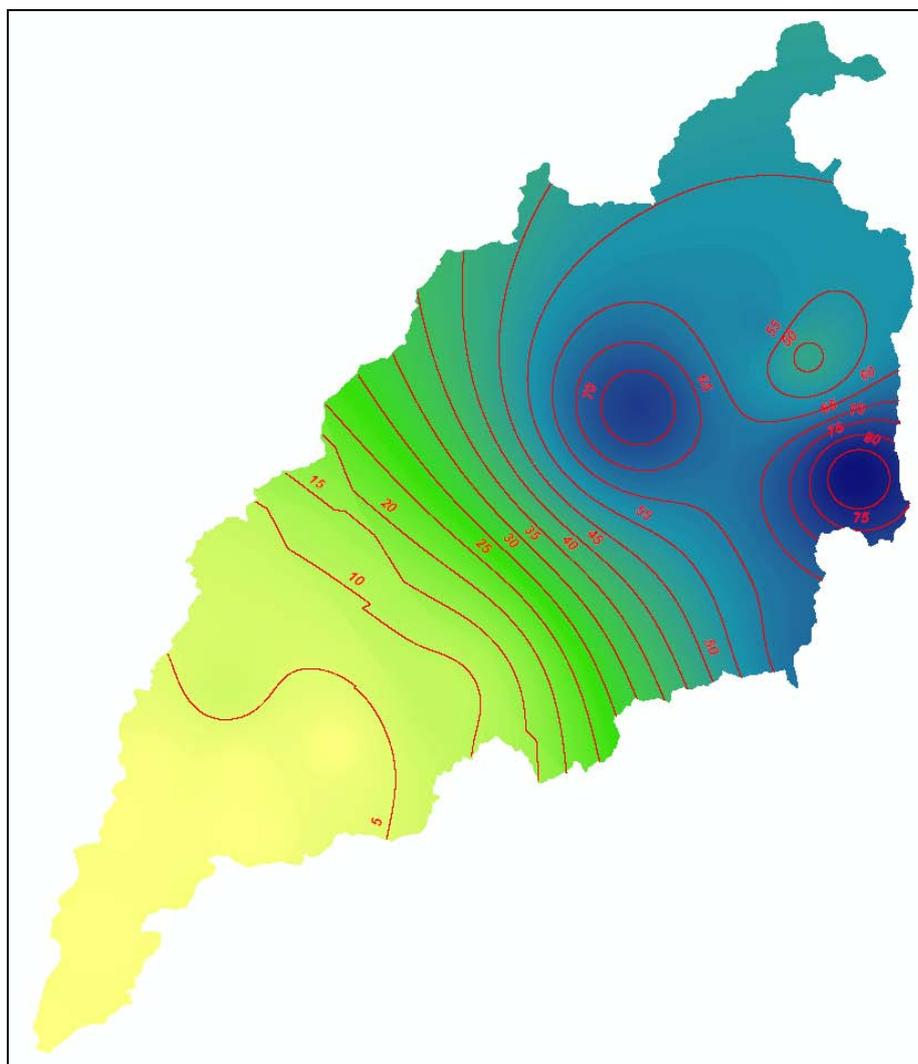


図-3.1.9-17 確率 50 年雨量等雨量線図 (ヤウカ川流域)

表-3.1.9-25 確率雨量別ハイエイト

T (años) /Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PP total (mm)
5	1	2	3	4	3	3	2	2	1	1	22
10	1	2	3	5	4	3	3	2	2	1	26.5
25	2	3	4	6	4	4	3	3	2	1	31.3
50	2	3	5	7	5	4	4	3	2	1	36.2
100	2	4	5	8	6	5	4	3	2	2	40.2

⑥ マヘス/カマナ川流域

各観測地点の確率 24 時間雨量を表-3.1.9-26 に示すとともに確率 50 年雨量の等雨量線図を図-3.1.9-18 に示す。

表-3.1.9-26 確率 24 時間雨量 (マヘス/カマナ川流域)

Station	Coordinates			Precipitation for T (years)						
	Latitude	Longitude	Altitude (masl)	2	5	10	25	50	100	200
Andahua	15° 29'37	72° 20'57	3538	24.30	31.33	34.83	38.29	40.33	42.02	43.43
Aplao	16° 04'10	72° 29'26	625	1.71	5.03	7.26	9.51	10.71	11.56	12.14
Ayo	15° 40'45	72° 16'13	1950	10.28	16.43	20.51	25.66	29.48	33.27	37.05
Cabanaconde	15° 37'7	71° 58'7	3369	26.58	37.88	45.89	56.58	64.95	73.67	82.79
Camaná	16° 36'24	72° 41'49	29	3.18	7.16	9.79	13.11	15.58	18.03	20.46
Caravelí	15° 46'17	73° 21'42	1757	7.67	16.07	22.60	31.46	38.30	45.21	52.15
Chachas	15° 29'56	72° 16'2	3130	22.21	28.60	32.08	35.83	38.24	40.37	42.30
Chichas	15° 32'41	72° 54'59.7	2120	16.28	23.47	27.01	30.37	32.23	33.67	34.80
Chiguata	16° 24'1	71° 24'1	2945	18.88	29.98	37.33	46.40	52.94	59.27	65.42
Chinchayllapa	14° 55'1	72° 44'1	4514	23.12	31.21	36.57	43.34	48.37	53.35	58.32
Chivay	15° 38'17	71° 35'49	3663	24.50	32.74	38.20	45.09	50.21	55.29	60.35
Choco	15° 34'1	72° 07'1	3160	16.10	22.92	27.45	33.16	37.39	41.60	45.79
Chuquibamba	15° 50'17	72° 38'55	2839	21.65	36.96	47.09	59.89	69.39	78.82	88.21
Cotahuasi	15° 22'29	72° 53'28	5086	21.20	29.97	35.78	43.12	48.56	53.96	59.35
Crucero Alto	15° 46'1	70° 55'1	4486	25.33	31.66	35.20	39.10	41.67	44.02	46.17
El Frayle	16° 05'5	71° 11'14	4110	22.33	29.95	35.43	42.89	48.83	55.12	61.82
Huambo	15° 44'1	72° 06'1	3500	22.87	30.14	34.96	41.05	45.57	50.05	54.52
Imata	15° 50'12	71° 05'16	4451	28.35	37.09	42.87	50.18	55.60	60.98	66.34
La Angostura	15° 10'47	71° 38'58	4260	35.90	45.89	53.22	63.31	71.46	80.18	89.57
La Joya	16°35'33	71°55'9	1279	1.22	4.74	7.89	11.93	14.65	16.98	18.92
La Pampilla	16° 24'12.2	71° 31'6	2388	12.65	21.64	27.66	35.01	40.23	45.20	49.94
Lagunillas	15° 46'46	70° 39'38	4385	28.55	34.30	37.75	41.81	44.67	47.40	50.05
Las Salinas	16° 19'5	71° 08'54	3369	18.05	25.72	30.80	37.22	41.98	46.70	51.41
Machahuay	15° 38'43	72° 30'8	3000	21.06	29.80	34.71	40.03	43.45	46.46	49.14
Madrigal	15° 36'59.7	71° 48'42	3238	23.63	30.07	33.66	37.59	40.17	42.50	44.63
Orcopampa	15° 15'39	72° 20'20	3805	21.51	29.58	36.83	48.66	59.81	73.37	89.92
Pampa de Arrieros	16° 03'48	71° 35'21	3720	18.86	32.08	40.82	51.88	60.07	68.21	76.32
Pampa de Majes	16° 19'40	72° 12'39	1442	2.07	6.68	10.56	15.55	18.98	22.04	24.69
Pampacolca	15° 42'51	72° 34'3	2895	21.13	29.11	34.40	41.08	46.04	50.95	55.86
Pampahuta	15° 29'1	70° 40'33.3	4317	34.18	39.66	42.87	46.58	49.14	51.57	53.89
Pillones	15° 58'44	71° 12'49	4428	24.00	32.95	38.88	46.36	51.92	57.43	62.92
Porpera	15° 21'1	71° 19'1	4142	27.40	40.61	49.37	60.42	68.63	76.77	84.88
Pullhuay	15° 09'1	72° 46'1	3098	24.47	32.43	37.63	44.15	48.97	53.77	58.60
Salamanca	15° 30'1	72° 50'1	3153	19.86	26.64	31.13	36.81	41.02	45.20	49.36
Sibayo	15° 29'8	71° 27'11	3839	31.25	38.61	42.98	48.06	51.59	54.93	58.13
Sumbay	15° 59'1	71° 22'1	4300	25.43	35.57	43.10	53.56	62.08	71.26	81.17
Tisco	15° 21'1	71° 27'1	4198	33.41	42.74	51.24	65.12	78.15	93.95	113.15
Yanaquihua	15° 46'59.8	72° 52'57	2834	20.70	35.78	45.76	58.38	67.74	77.03	86.29

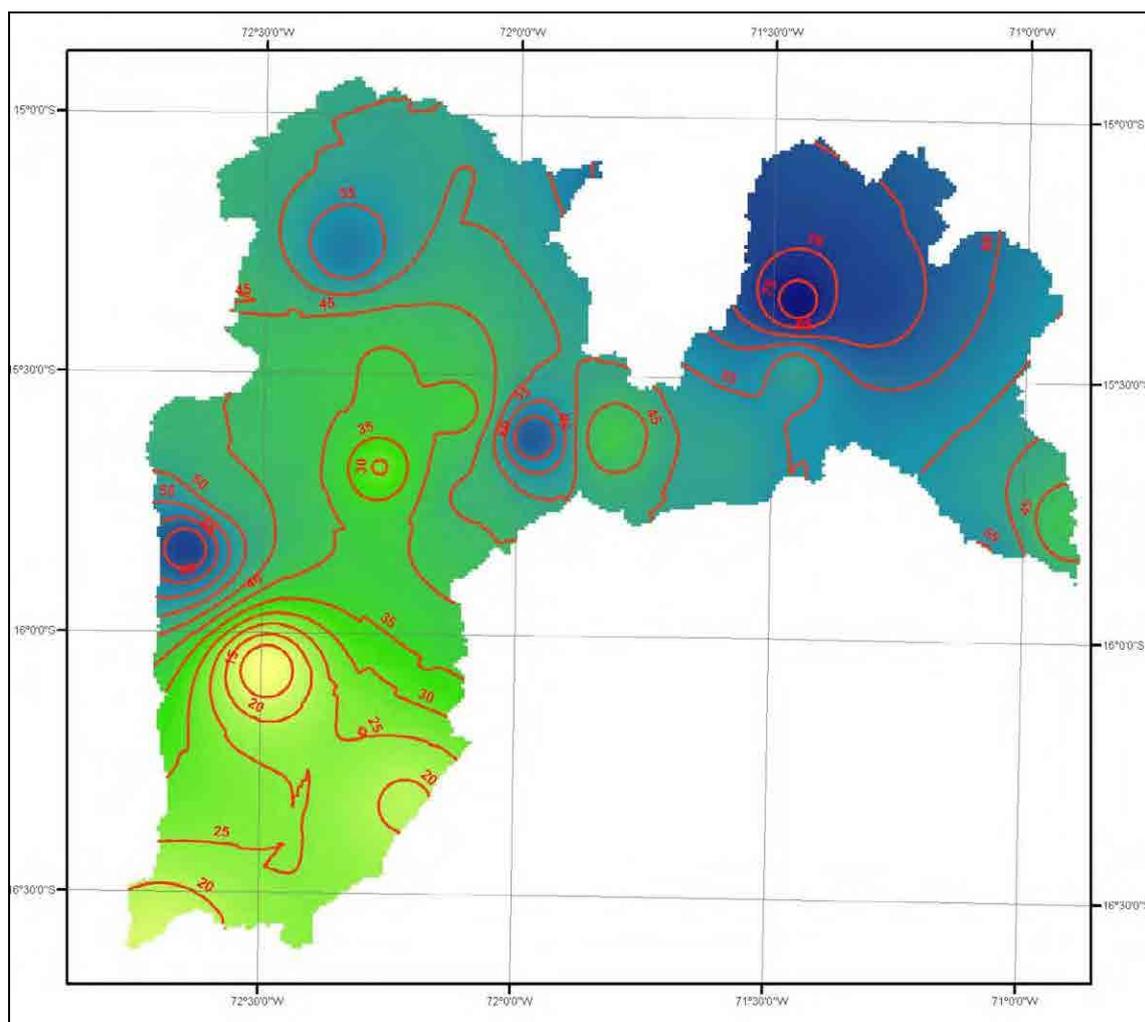


図-3.1.9-18 確率 50 年雨量等雨量線図 (マヘス/カマナ川流域)

(3) 流出量解析

1) 流量観測状況

流出量解析に用いる流量の観測状況を把握するとともに、流出量解析に必要な流量観測データの収集および整理を行った。

流量データは、DGIH、水利組合、水管理局 (ANA)、チラーピウラスペシャルプロジェクトより収集した。

2) 流出量解析

収集したデータより整理した基準地点の年最大流量を用いて、水文統計計算を行い確率流量を算出した。生起確率 2 年～100 年の確率流量を整理して、表-3.1.9-27 に示す。

6 流域の値を比較すると、チラ川、マヘス/カマナ川の流量が多く、ヤウカ川の流量が少ないことがわかる。

表-3.1.9-27 基準地点確率流量

(m³/s)

河川名	確率 2年	確率 5年	確率 10年	確率 25年	確率 50年	確率 100年
チラ川 Puente Sullana	888	1,726	2,281	2,983	3,503	4,019
カニエテ川 Socsi	313	454	547	665	753	840
チンチャ川 Conta	179	378	536	763	951	1,156
ピスコ川 Letrayoc	267	398	500	648	774	914
ヤウカ川 San Francisco Alto	41	81	116	171	219	273
マヘス/カマナ川 Huatiapa	598	1,022	1,303	1,657	1,920	2,181

3) 確率洪水量解析

①解析手法

確率洪水量の解析は、HEC-HMS を用いて行った。HEC-HMS により、生起確率ごとのハイドログラフを作成するとともにピーク流量の算出を行った。

解析に用いる降雨量は、降雨解析により算出した各流域の生起確率毎のハイエイトを用いた。

なお、ハイドログラフは流出量解析で推定したピーク流量を参考に評価を行い決定した。

なお、チラ川については、上流にあるポエチョスダムの洪水調節効果を考慮して解析を行った。

HEC-HMS の解析結果のアウトプット例を図 3.1.9-19、20 に示す。

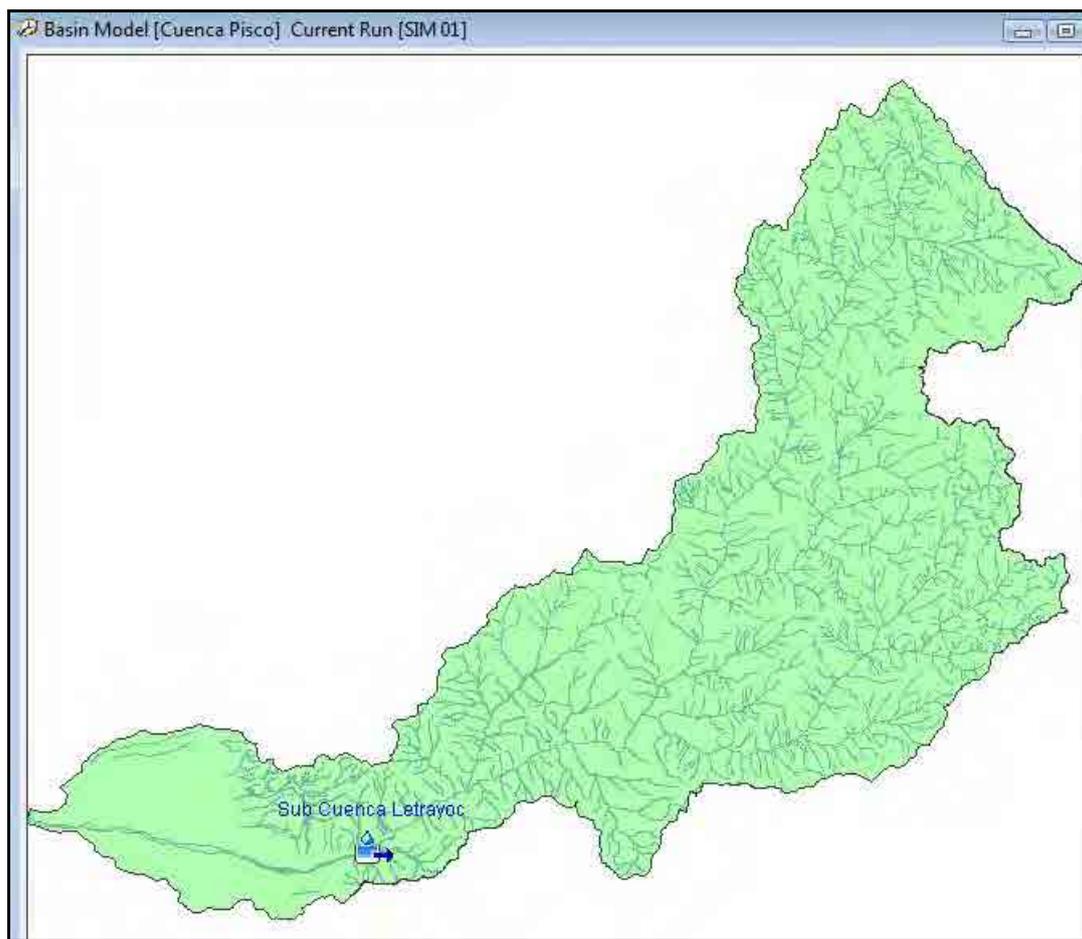


図-3.1.9-19 解析結果例 1 (解析モデルおよび基準地点位置図：ピスコ川流域)

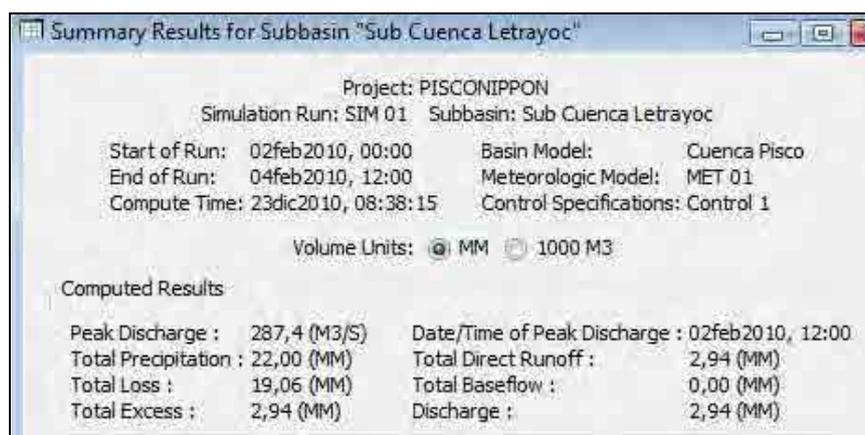
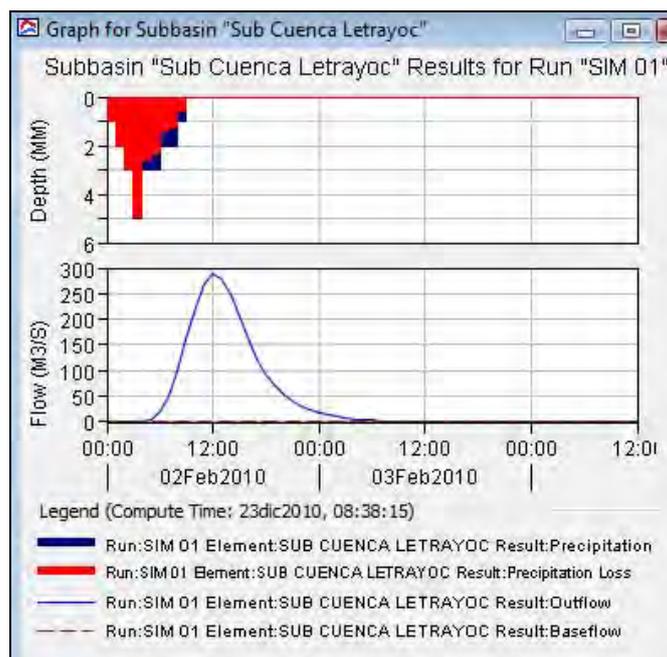


図-3.1.9-20 解析結果例 2 (計算結果：ピスコ川流域)

②解析結果

各流域における生起確率2年～100年の確率洪水量を整理して表-3.1.9-28,-29に示す。
 また、各流域における確率洪水のハイドログラフは図-3.1.9-21～図-3.1.9-26に示すとおりである。
 確率洪水流量の比流量を比較すると、降雨量の多いチラ川の比流量が、カニェテ川、チンチャ川、ピスコ川よりも少なくなっている。これは、基準地点上流域にあるポエチョスダムの洪水調節効果を考慮したためである。

表-3.1.9-28 確率洪水流量（ピーク流量：基準地点）

(m³/s)

河川名	確率 2年	確率 5年	確率 10年	確率 25年	確率 50年	確率 100年
チラ川 Puente Sullana	890	1,727	2,276	2,995	3,540	4,058
カニエテ川 Socsi	331	408	822	1,496	2,175	2,751
チンチャ川 Conta	203	472	580	807	917	1,171
ピスコ川 Letrayoc	213	287	451	688	855	962
ヤウカ川 San Francisco Alto	24	37	90	167	263	400
マヘス/カマナ川 Huatiapa	270	728	1,166	1,921	2,659	3,586

表-3.1.9-29 確率洪水比流量（ピーク流量：基準地点）

(m³/s/km²)

河川名	確率 2年	確率 5年	確率 10年	確率 25年	確率 50年	確率 100年	流域面積 Km2
チラ川 Puente Sullana	0.066	0.129	0.170	0.224	0.264	0.303	13,390
カニエテ川 Socsi	0.058	0.072	0.145	0.264	0.383	0.485	5,676
チンチャ川 Conta	0.068	0.158	0.195	0.271	0.308	0.393	2,981
ピスコ川 Letrayoc	0.069	0.093	0.147	0.224	0.279	0.313	3,070
ヤウカ川 San Francisco Alto	0.008	0.012	0.028	0.052	0.082	0.125	3,198
マヘス/カマナ川 Huatiapa	0.021	0.057	0.091	0.149	0.207	0.279	12,854

*流域面積は基準点より上流域の面積

*チラ川は上流域のエクアドル国部分も含む

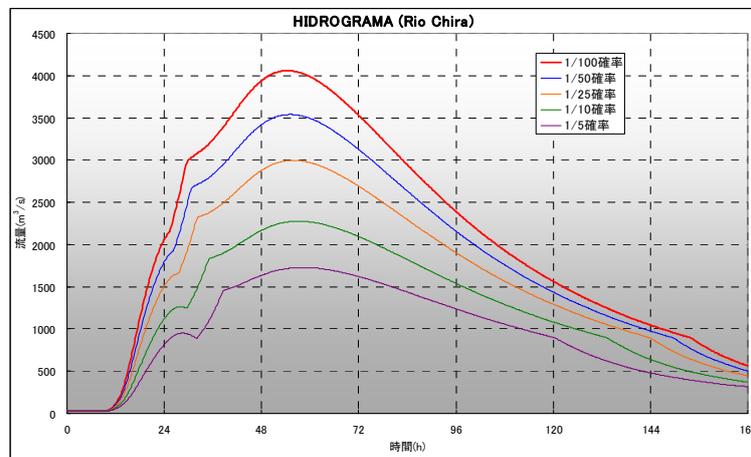


図-3.1.9-21 チラ川の洪水ハイドログラフ

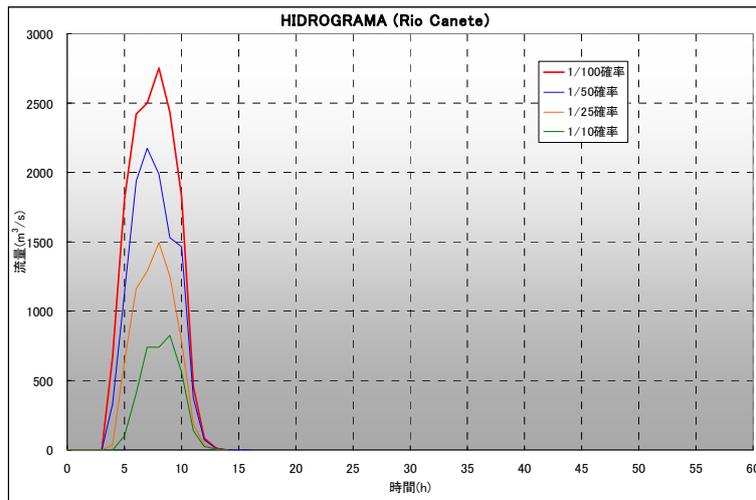


図-3.1.9-22 カニエテ川の洪水ハイドログラフ

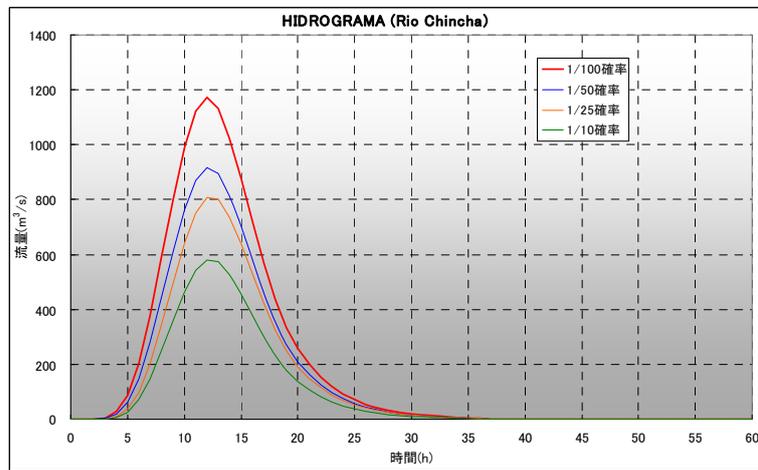


図-3.1.9-23 チンチャ川の洪水ハイドログラフ

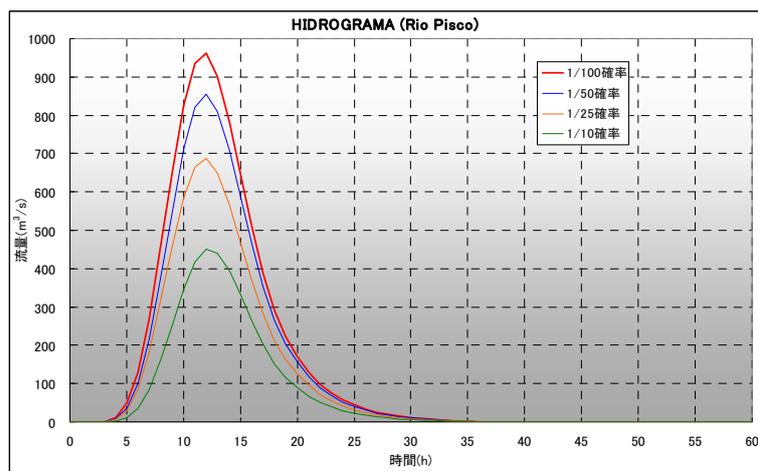


図-3.1.9-24 ピスコ川の洪水ハイドログラフ

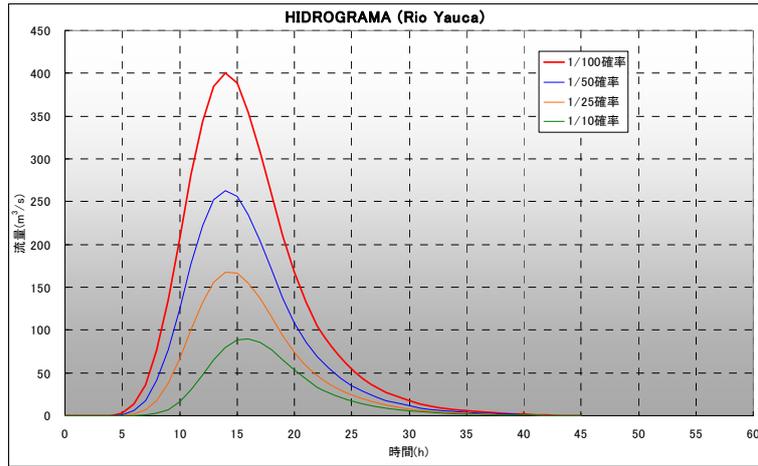


図-3.1.9-25 ヤウカ川の洪水ハイドログラフ

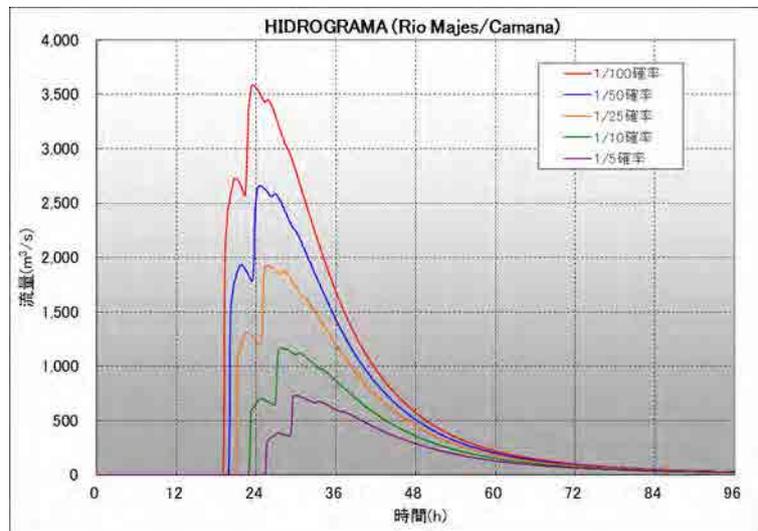


図-3.1.9-26 マヘス/カマナ川の洪水ハイドログラフ

3.1.10 氾濫解析

(1) 河川測量

氾濫解析を行うに当たり、河川の横断測量および堤防高の縦断測量を実施した。調査対象 6 河川について行った河川測量は表-3.1.10-1 に示すとおりである。

氾濫原においては氾濫解析に用いる地形データを得るために衛星画像のデータを利用して表-3.1.10-1 に示す実測結果を補完した。

表-3.1.10-1 河川測量の概要

項目	単位	数量	備考
1.測量			
1.1基準点測量			1ヶ所/河川延長10km
チラ川	No.	10	
チンチャ川	No.	6	
ピスコ川	No.	5	
カニエテ川	No.	4	
ヤウカ川	No.	5	
マヘス-カマナ川	No.	13	
計	No.	43	
1.2堤防縦断測量			
チラ川	km	100	
チンチャ川	km	50	25kmx2河川
ピスコ川	km	45	
カニエテ川	km	33	
ヤウカ川	km	45	
マヘス-カマナ川	km	130	
予備数量		38	
計		441	
1.3河川横断測量			横断測量間隔:500m
チラ川	km	120.0	
チンチャ川	km	38.0	
ピスコ川	km	54.6	
カニエテ川	km	46.9	
ヤウカ川	km	31.9	
マヘス-カマナ川	km	78.0	
予備数量		35.5	
計		404.9	
1.4基準点設置			
座標および水準点	No.	43	
河川距離標	No.	403	1ヶ所/河川延長1km

(2) 氾濫解析の方法

洪水氾濫解析は、DGIH がプログラムレベルのペルフィル作成の際に HEC-RAS 法を用いて実施していることから、これをレビューし、必要に応じて修正し、活用することを基本とする。

1) 検討方針

氾濫解析に使用される手法は、一般的には、以下の3種類がある。

- ① 1次元不等流モデル
- ② 池モデル
- ③ 平面 2次元不定流モデル

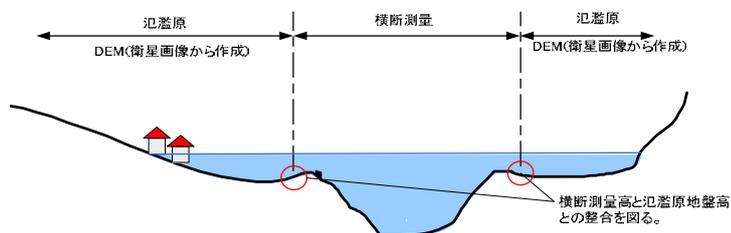
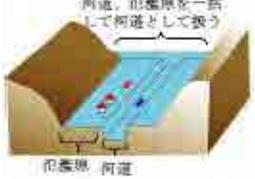
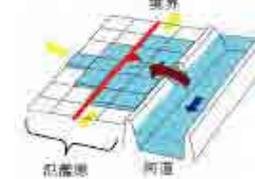


図-3.1.10-1 一次元モデルのイメージ

氾濫解析手法により作業に要する時間、コストが大幅に異なるため、浸水想定区域図に必要な精度を確保できる範囲で、より効率的な解析手法を選択する。

表-3.1.10-2 にそれぞれの氾濫解析手法の特徴を示す。DGIH が実施した既往の氾濫シミュレーション結果、河床勾配 1/100～1/300 であることから、対象河川の氾濫形態は流下型と想定されたため、氾濫解析は 1 次元不等流モデルを採用する予定であったが、対象区間の下流側では氾濫水が流域内に拡散することが想定されたため、平面二次元不定流モデルを用いて、精度を向上させることにした。

表-3.1.10-2 氾濫解析手法

氾濫解析手法名	1 次元不等流モデル	池（ポンド）モデル	平面 2 次元不定流モデル
浸水区域の設定の概念	氾濫源も河道の一部として扱い、洪水のピーク流量に対する河道内水位を算出することで、浸水区域を設定する。	氾濫源と河道を分割し、氾濫源を閉鎖された一体の領域として取り扱う。この一体化した領域を“池（ポンド）”と呼び、その中の浸水位は全て同一である。河道から氾濫源へ流入した氾濫水量と、氾濫源の地形特性（水位－容量－面積）の関係から浸水区域を設定する。	氾濫源と河道を分割して取り扱い、河道から氾濫源への流入した氾濫水の挙動を 2 次元の流体運動をして解析することで、浸水区域を設定する。
イメージ			
手法の特徴	氾濫水が河川に沿って氾濫源を流下する氾濫形態、すなわち流下型氾濫に対して適用可能である。ただし手法の特性上、氾濫解析区域は、無堤防（無堤）として扱う。	氾濫水が山地、高地、盛土などで閉塞され拡散を妨げられる氾濫形態、すなわち非拡散型に対して適用可能である。閉鎖領域内の氾濫水は水面勾配や流速を持たず同一の水位となる。ただし氾濫源内に連続盛土などが存在する場合は、それらを反映して背後地の領域を区別し多池モデルとする必要場合もある。	基本的にどのような氾濫形態においても適用可能である。最大浸水区域や浸水深だけでなく氾濫水の流速、それらの時間変化も再現できる。また、計算精度も他の手法に対し一般的に高いとされており、そのため浸水想定区域図作成においても使用実績が多い。ただし、手法の特性上、氾濫解析精度は、解析モデルの格子サイズに限定される。

2) 氾濫解析方法

平面二次元不定流氾濫解析モデルのイメージは図-3.1.10-2 に示すとおりである。

◆はん濫解析モデルイメージ

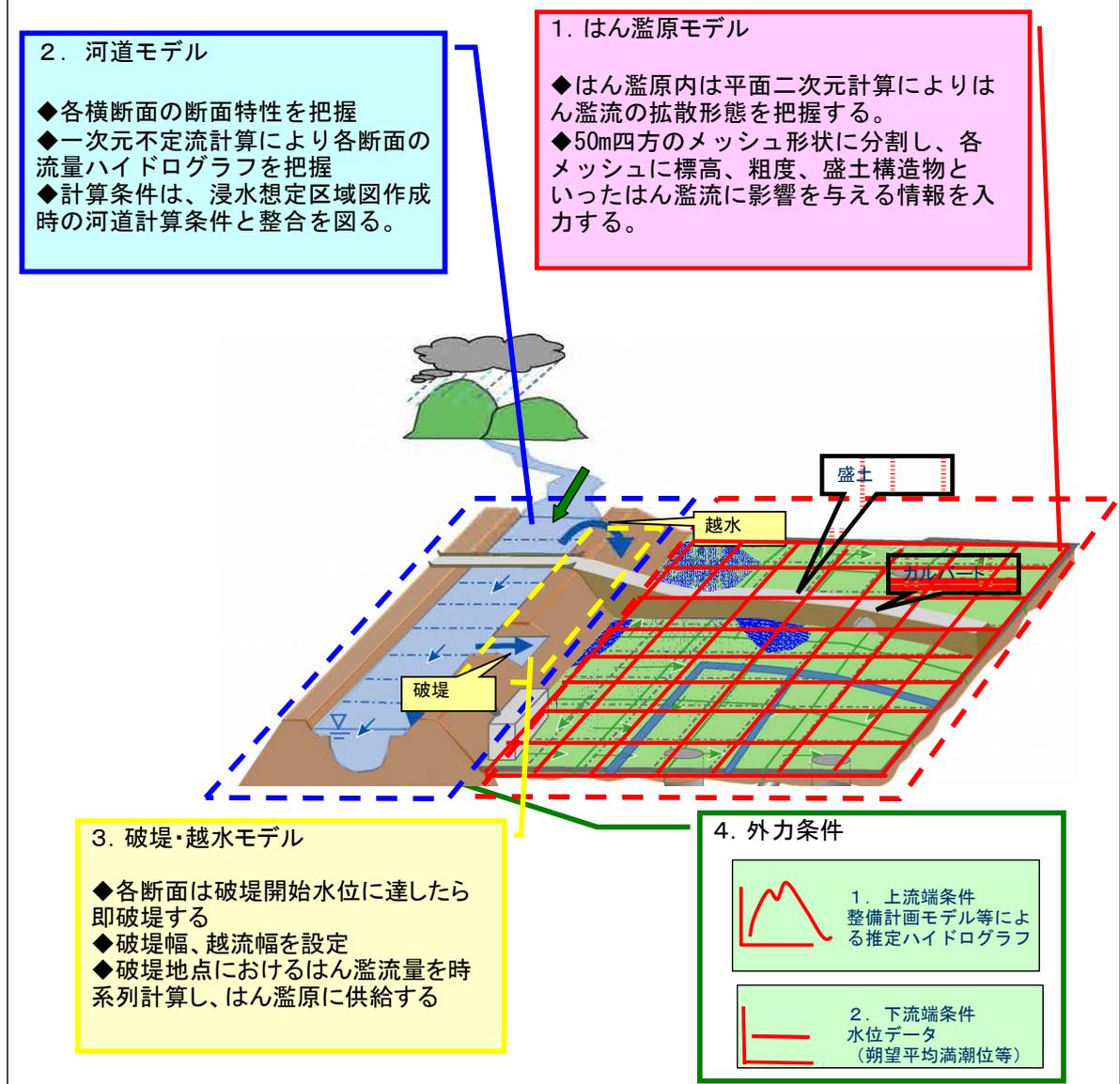


図-3.1.10-2 はん濫解析モデルの概念図

(3) 現況流下能力

河川測量の結果に基づき HEC-RAS 法を用いて現河道の現況疎通能力を推定すると図-3.1.10-3～図-3.1.10-10 に示すとおりとなる。図には生起確率洪水量も示してあるので、各流域の各地点においてどの確率洪水量で氾濫が発生するかが分かる。

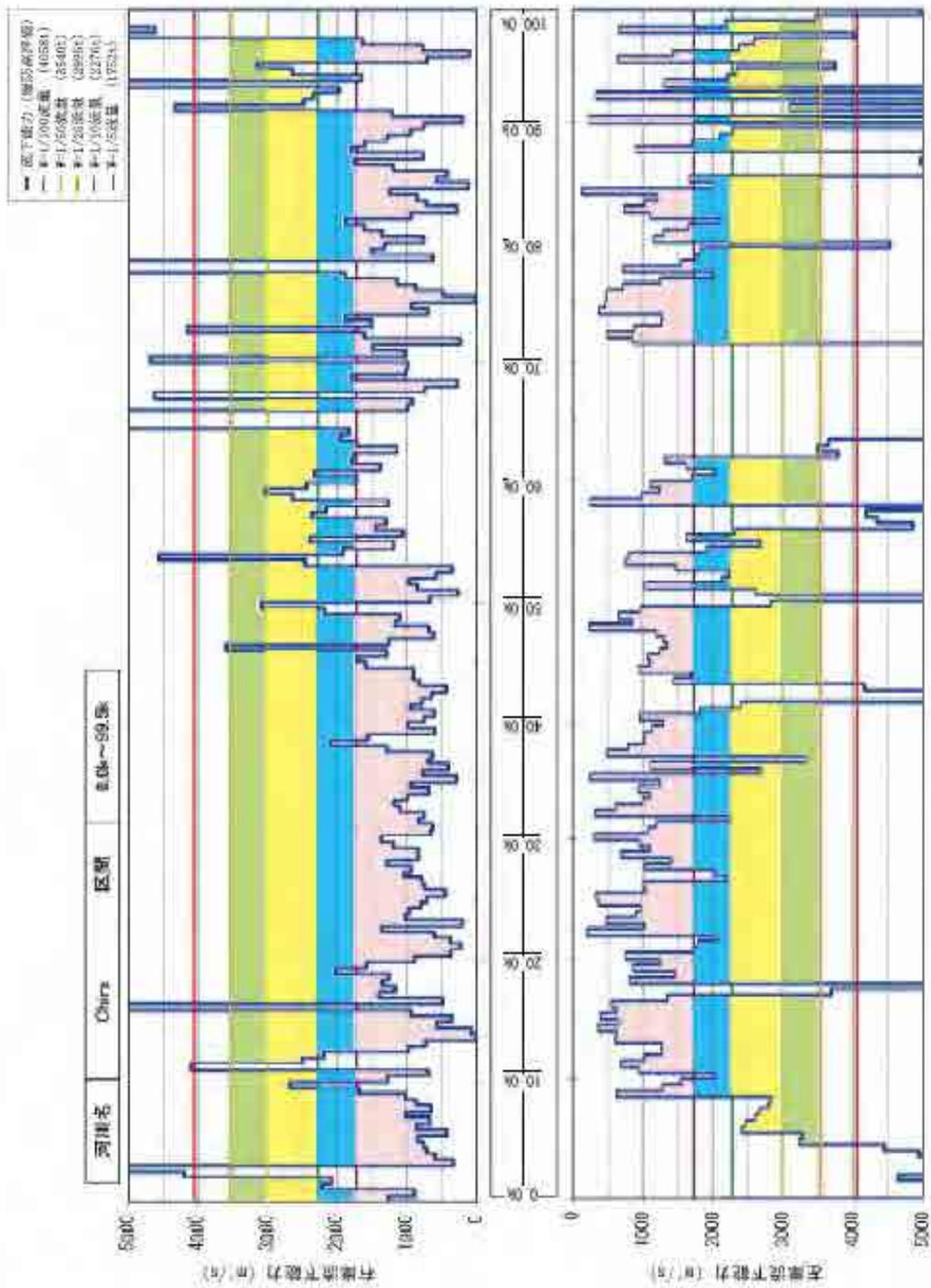


図-3.1.10-3 チラ川現況疎通能力

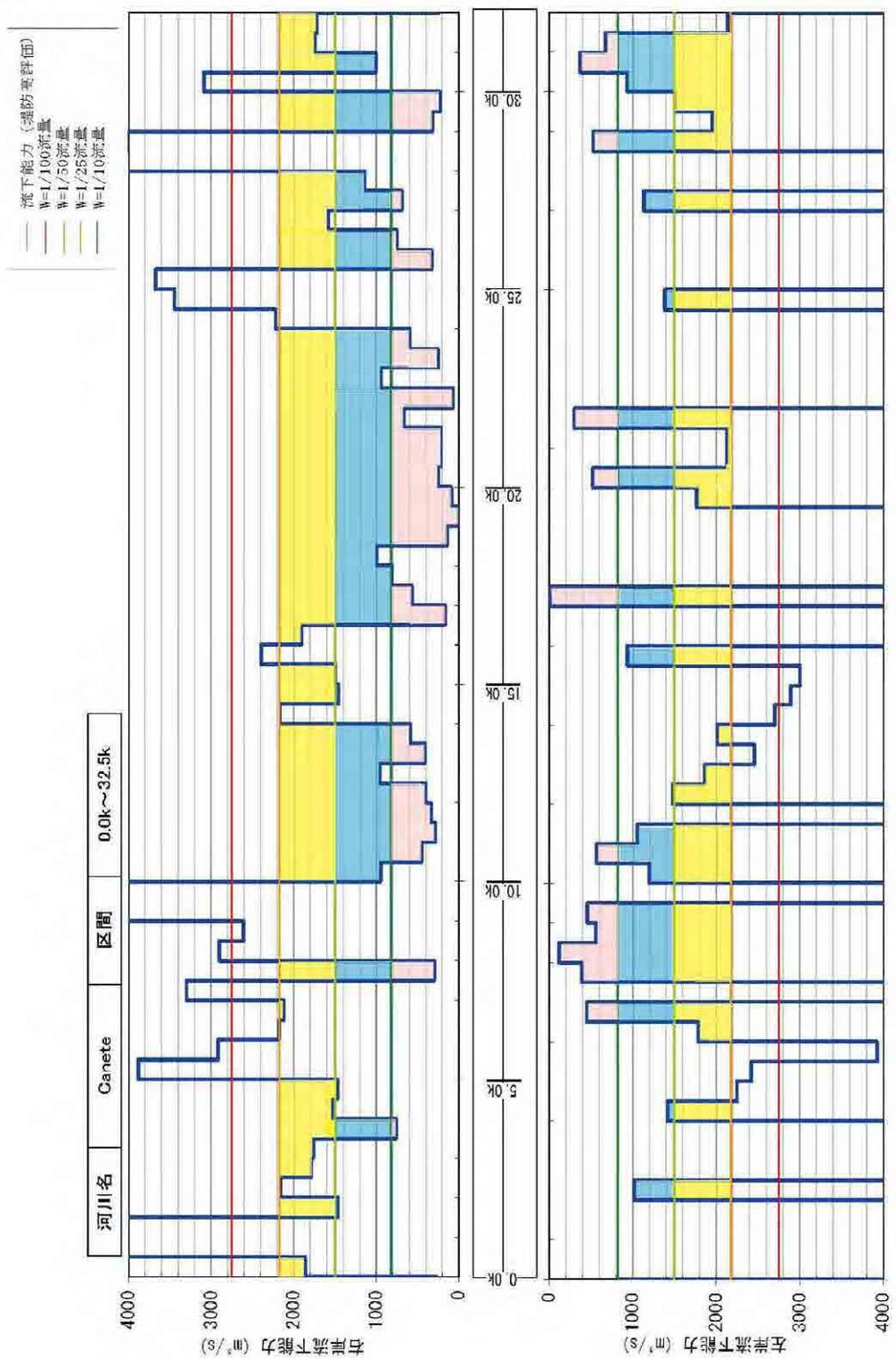


図-3.1.10-4 カニエテ川現況疎通能力

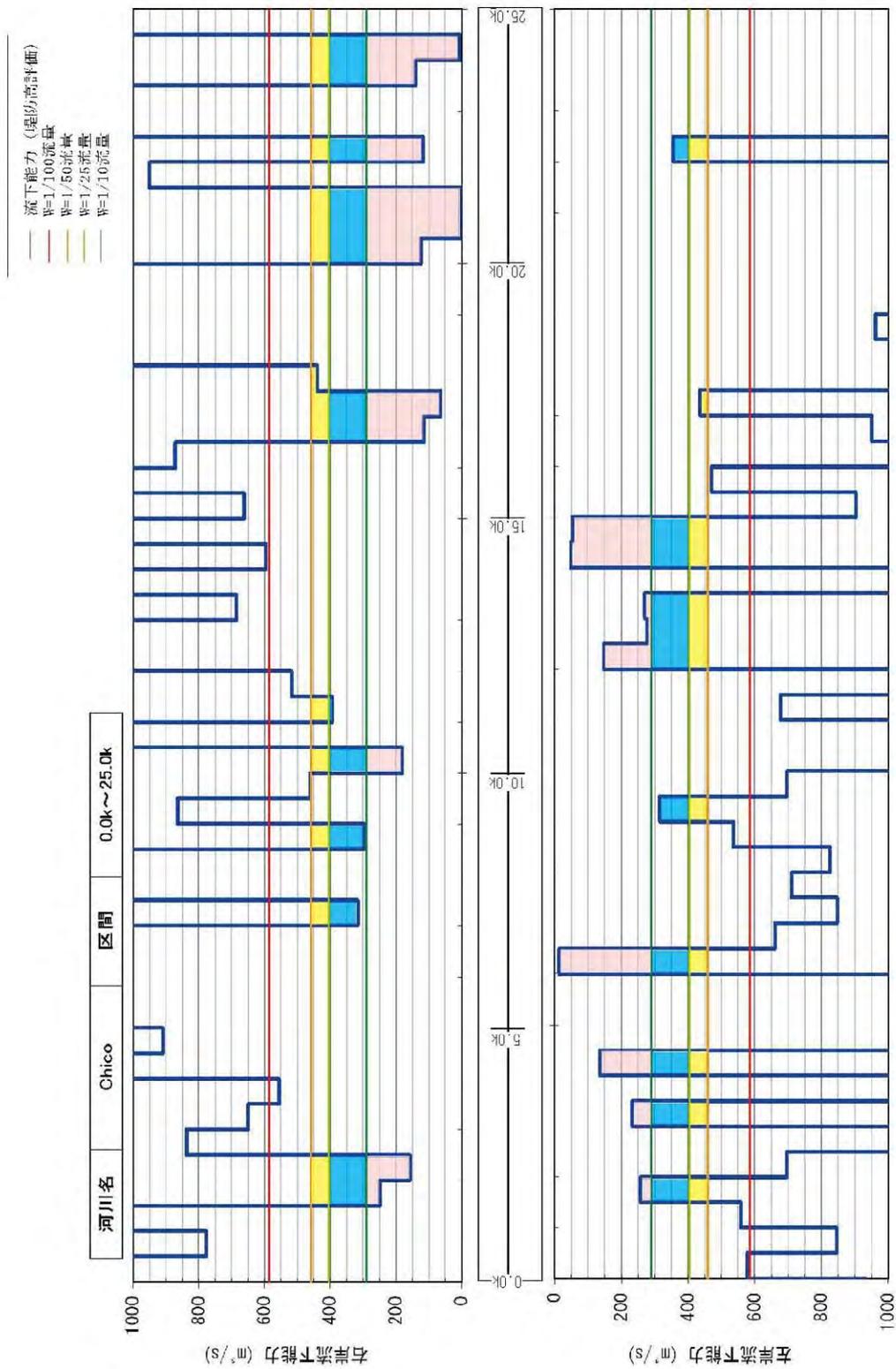


図-3.1.10-5 チンチャ川流域チョコ川現況疎通能力

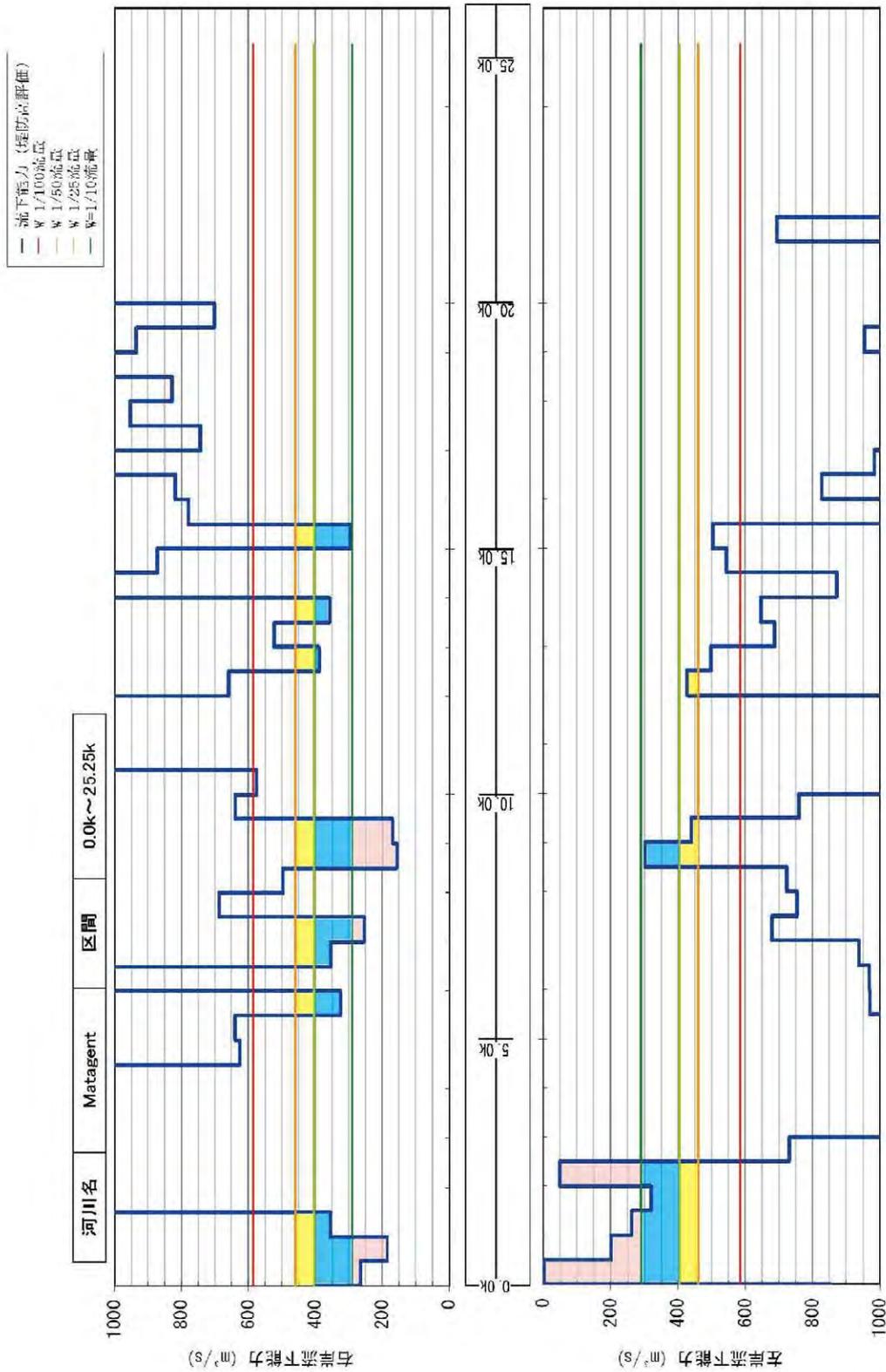


図-3.1.10-6 チンチャ川流域マタヘンテ川現況疎通能力

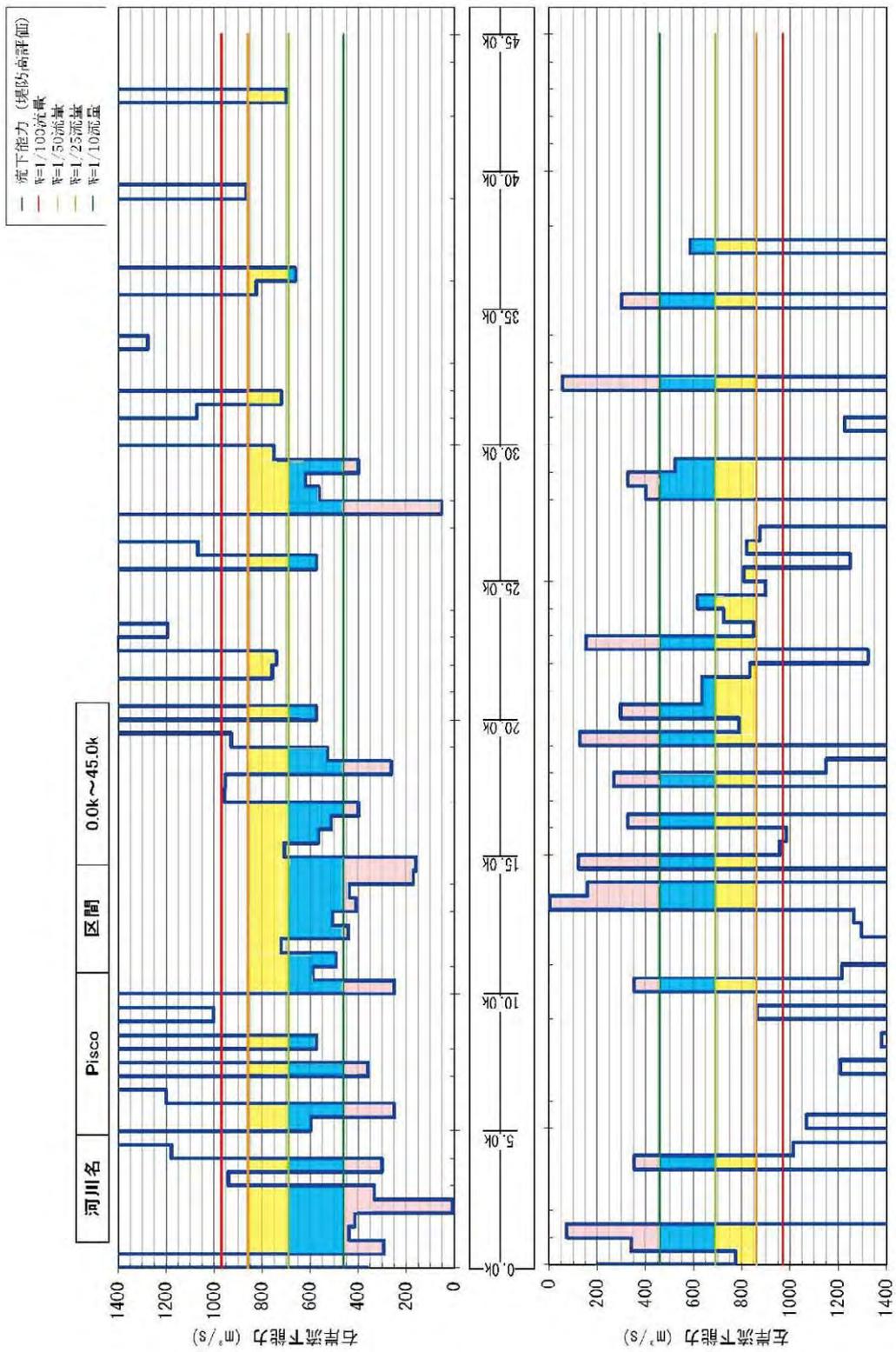


図-3.1.10-7 ピスコ川現況疎通能力

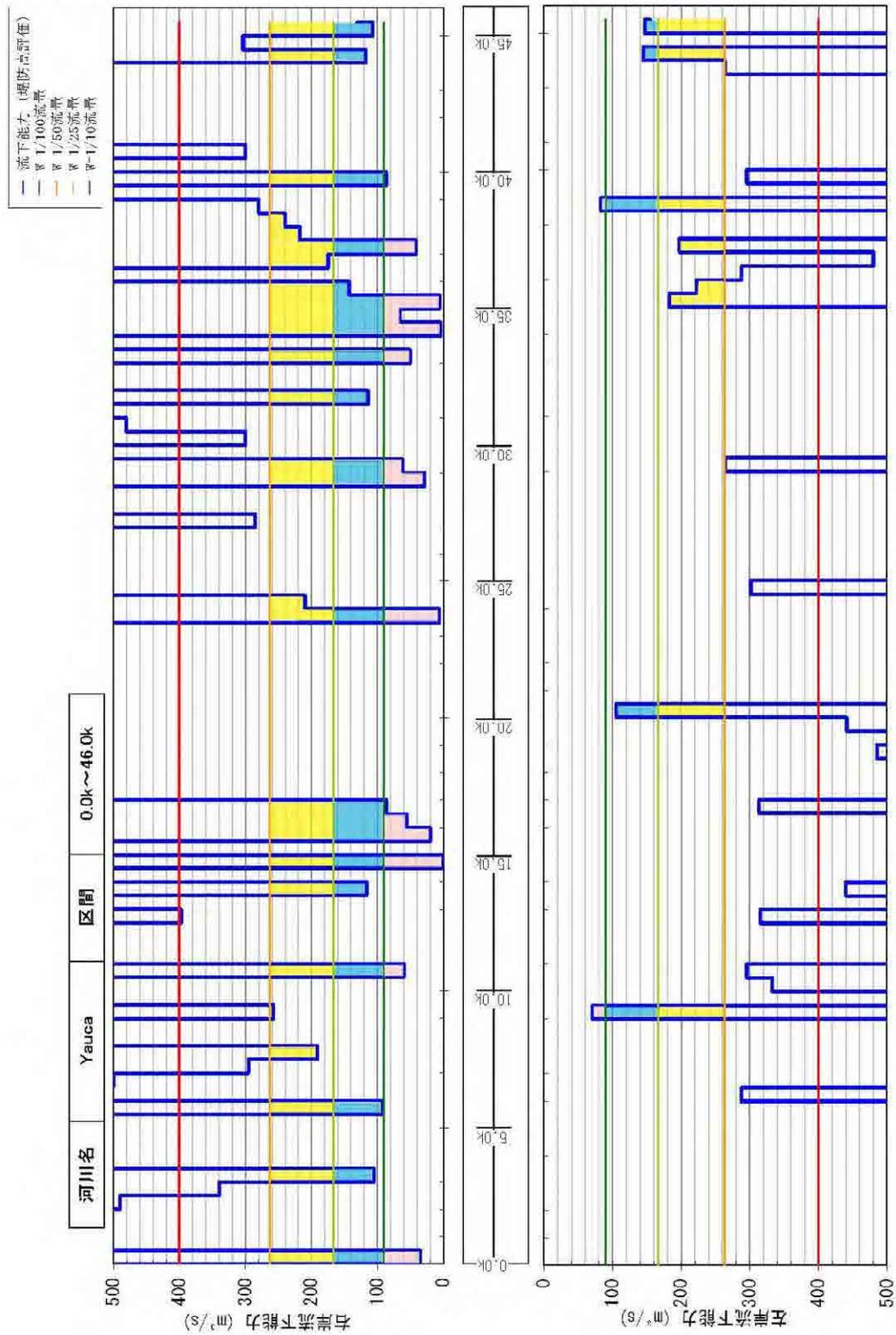


図-3.1.10-8 ヤウカ川現況疎通能力

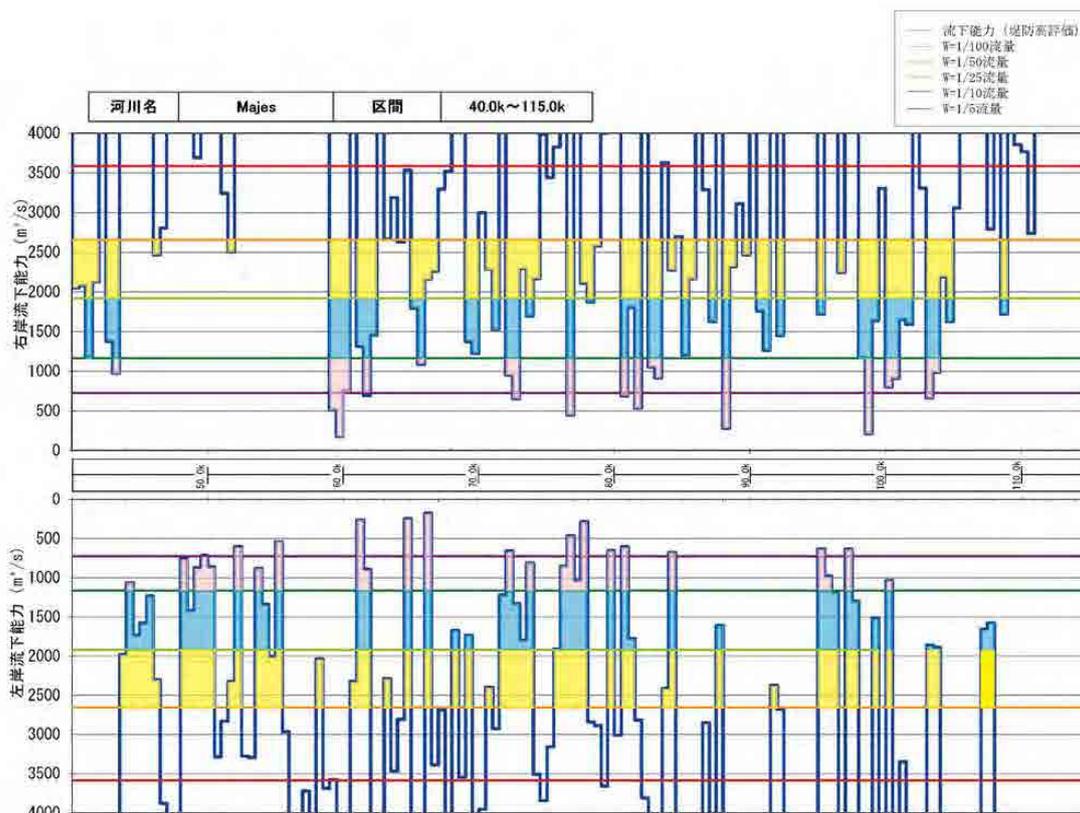


図-3.1.10-9 マヘス川現況疎通能力

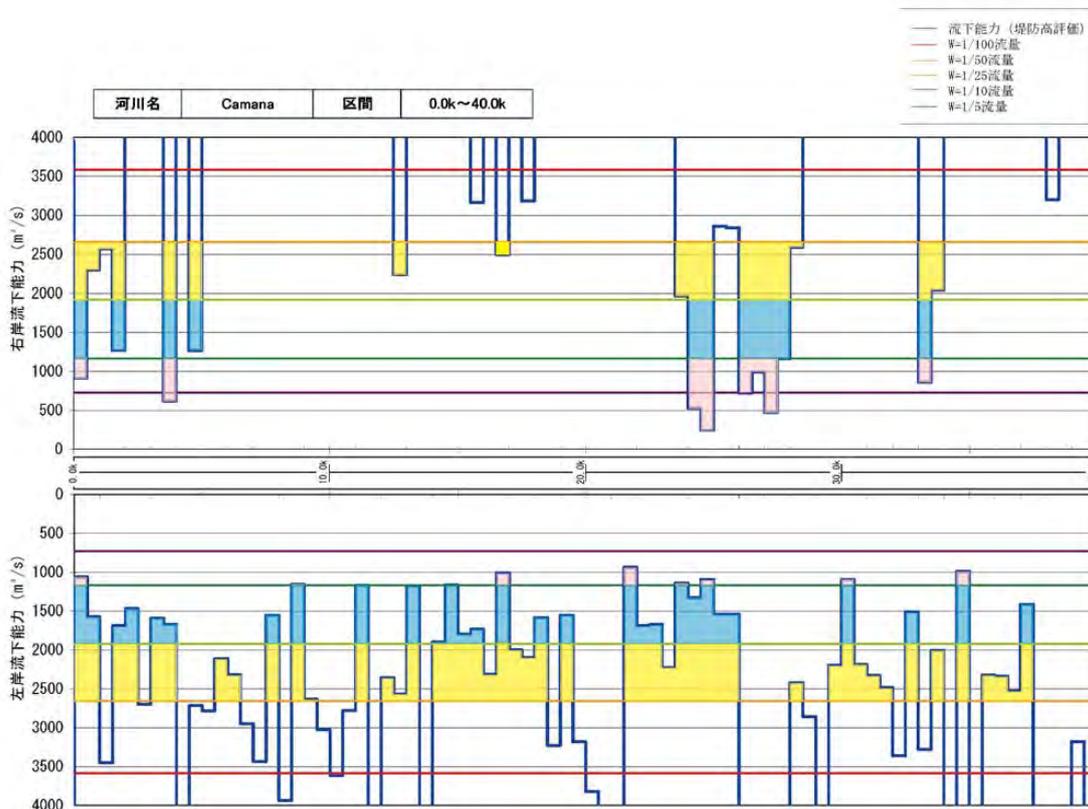


図-3.1.10-10 カマナ川現況疎通能力

(4) 氾濫範囲

一例として生起確率 50 年洪水量に対して各流域における氾濫範囲を計算すると図-3.1.10-11～
 図-3.1.10-18 に示すとおりとなる。

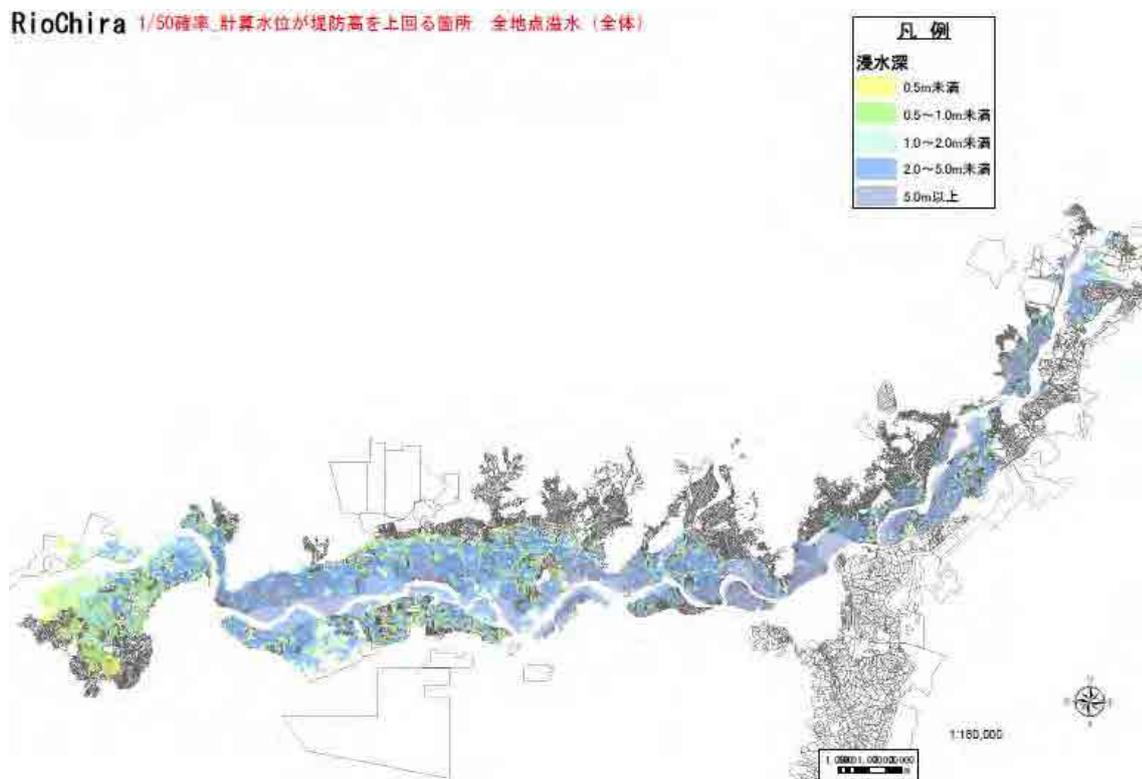


図-3.1.10-11 チラ川氾濫範囲(確率 50 年洪水)

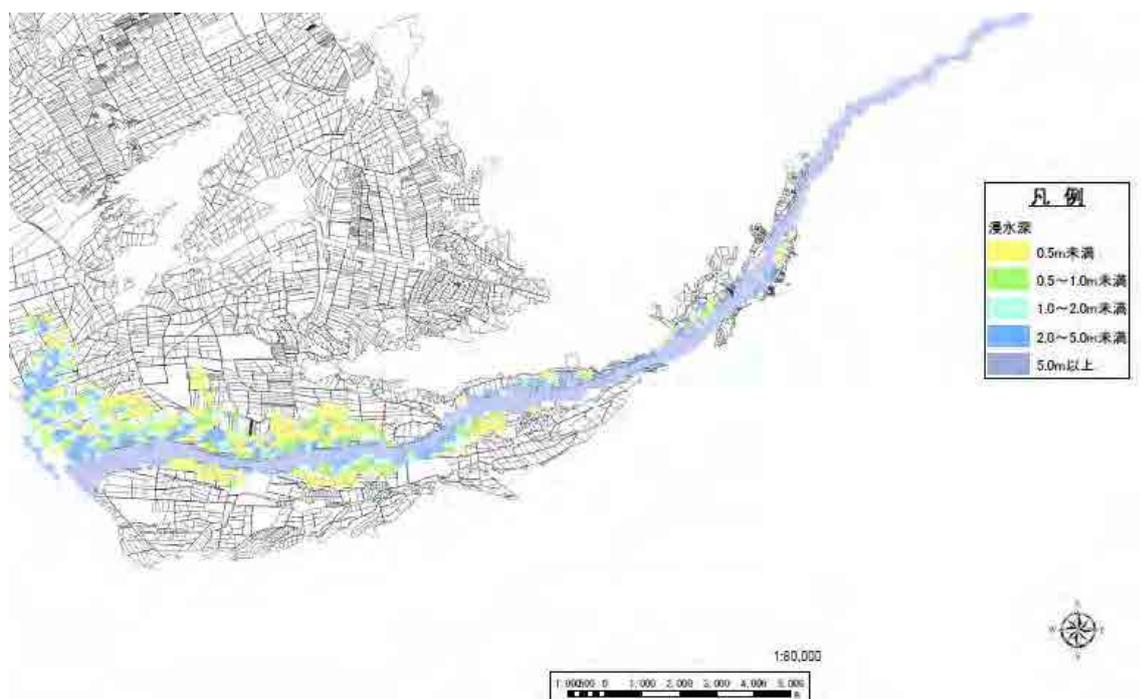


図-3.1.10-12 カニエテ川氾濫範囲(確率 50 年洪水)

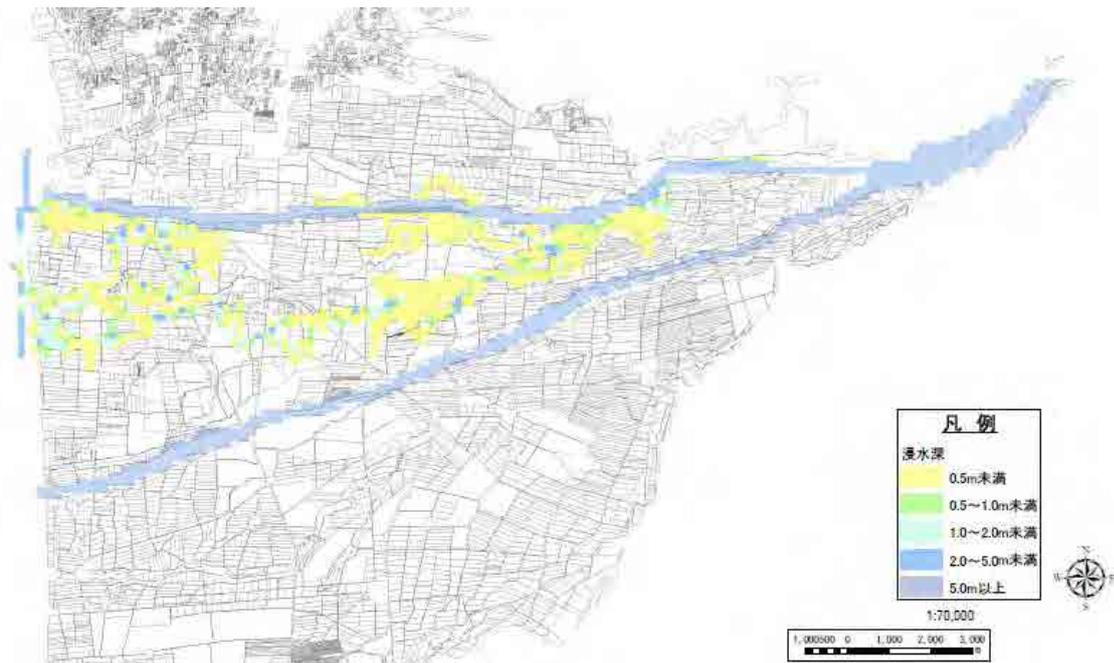


図-3.1.10-13 チンチャ川 (チコ川)氾濫範囲 (確率 50 年洪水)

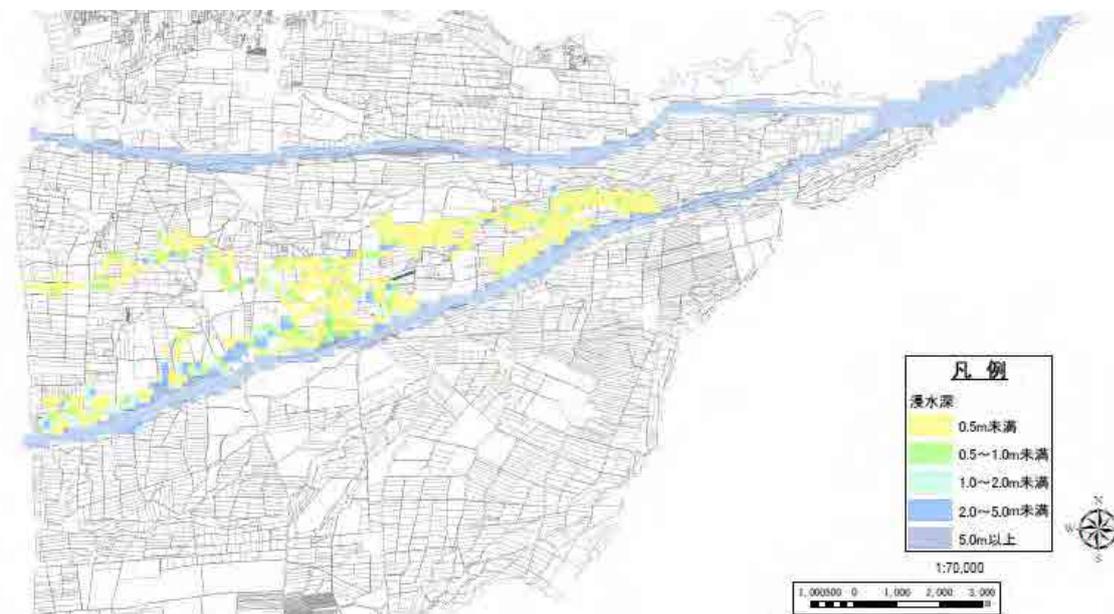


図-3.1.10-14 チンチャ川 (マタヘンテ川) 氾濫範囲 (確率 50 年洪水)

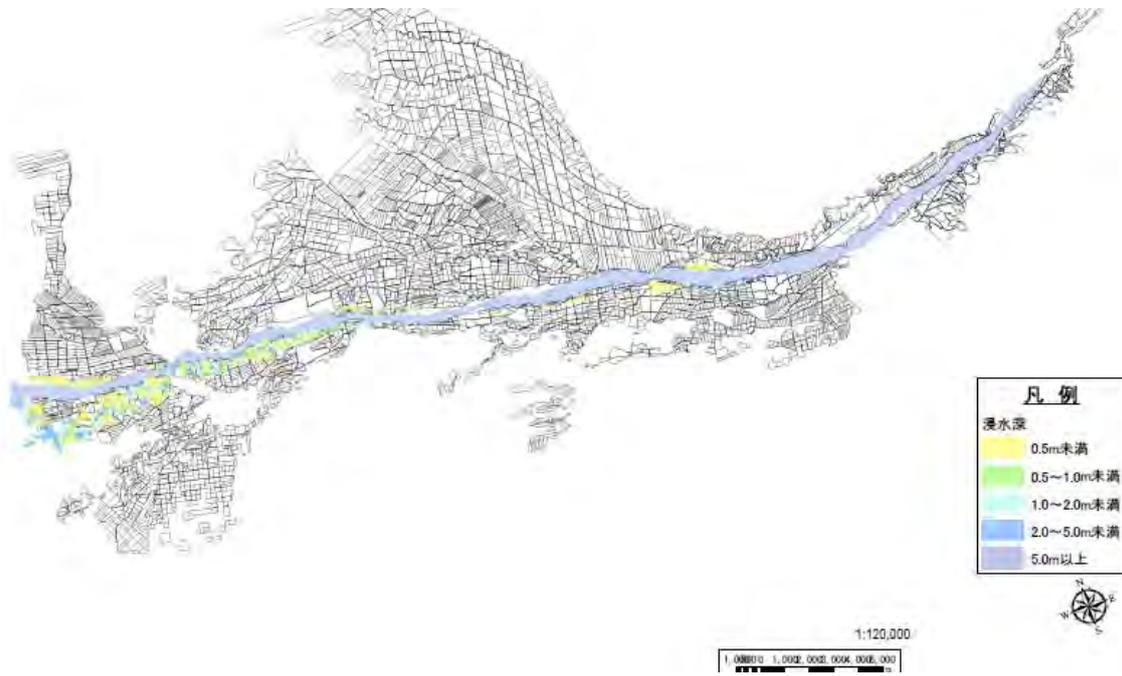


図-3.1.10-15 ピスコ川氾濫範囲（確率 50 年洪水）

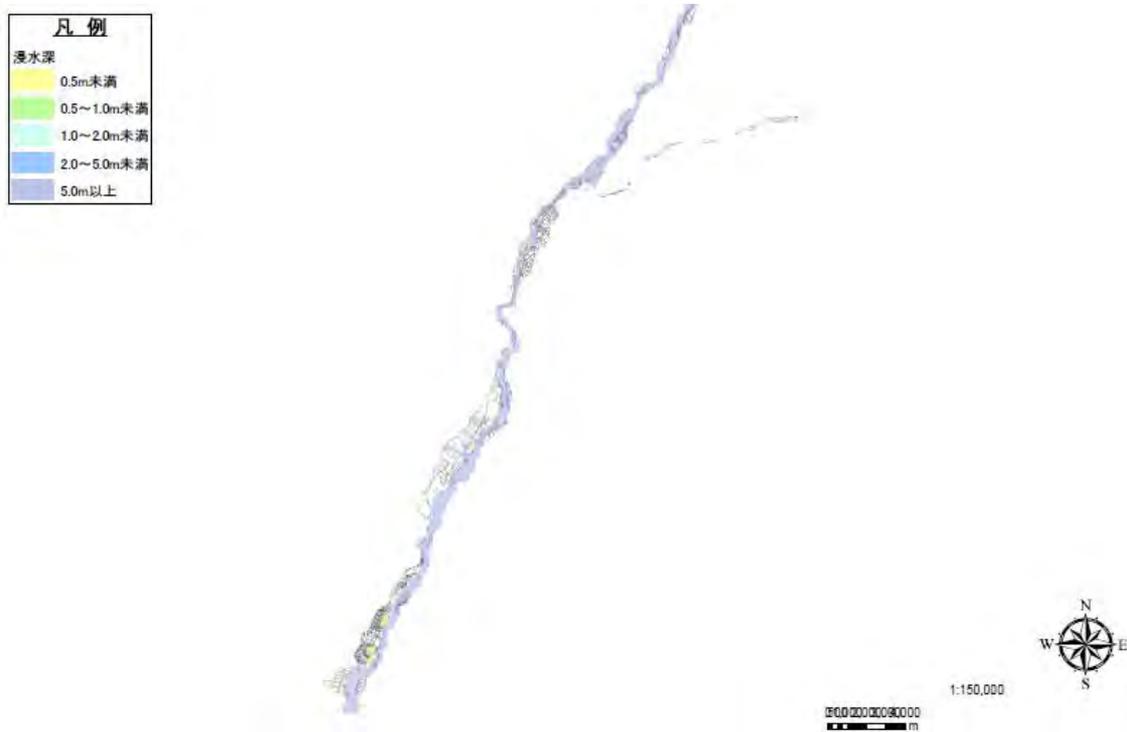


図-3.1.10-16 ヤウカ川氾濫範囲（確率 50 年洪水）

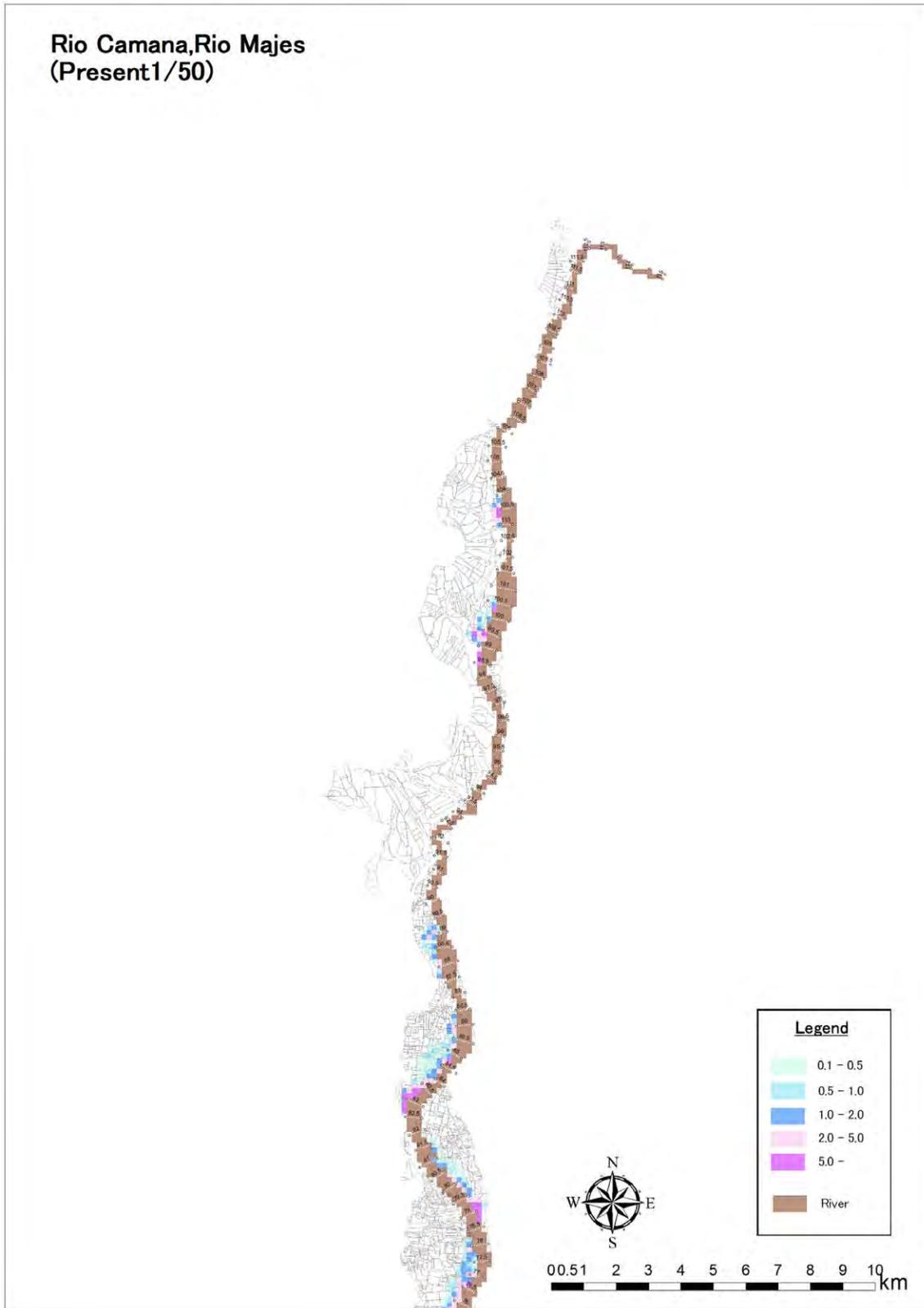


図-3.1.10-17 マヘス - カマナ川氾濫範囲 (確率 50 年洪水) (1)

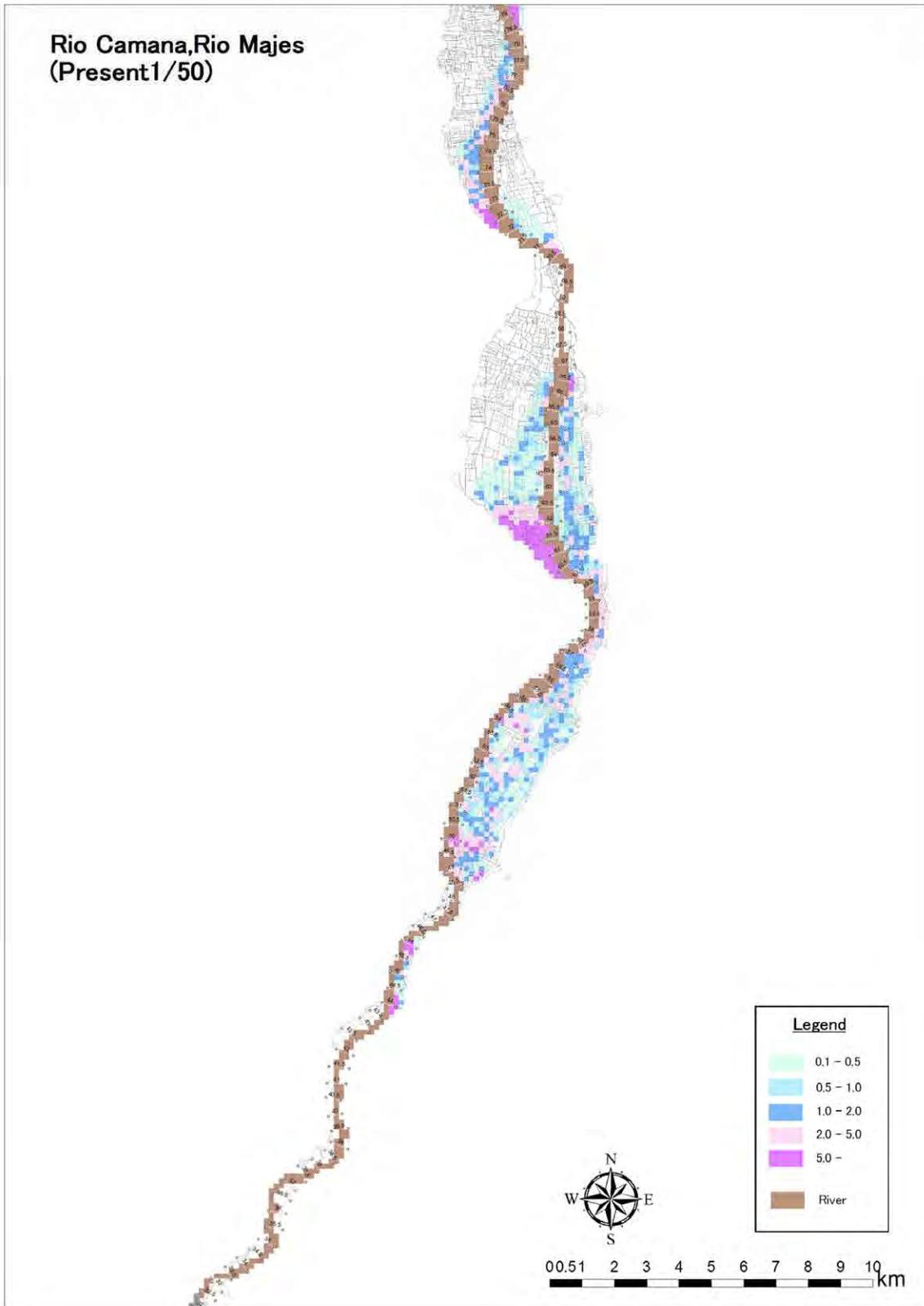


図-3.1.10-17(2) マヘス - カマナ川氾濫範囲 (確率 50 年洪水) (2)

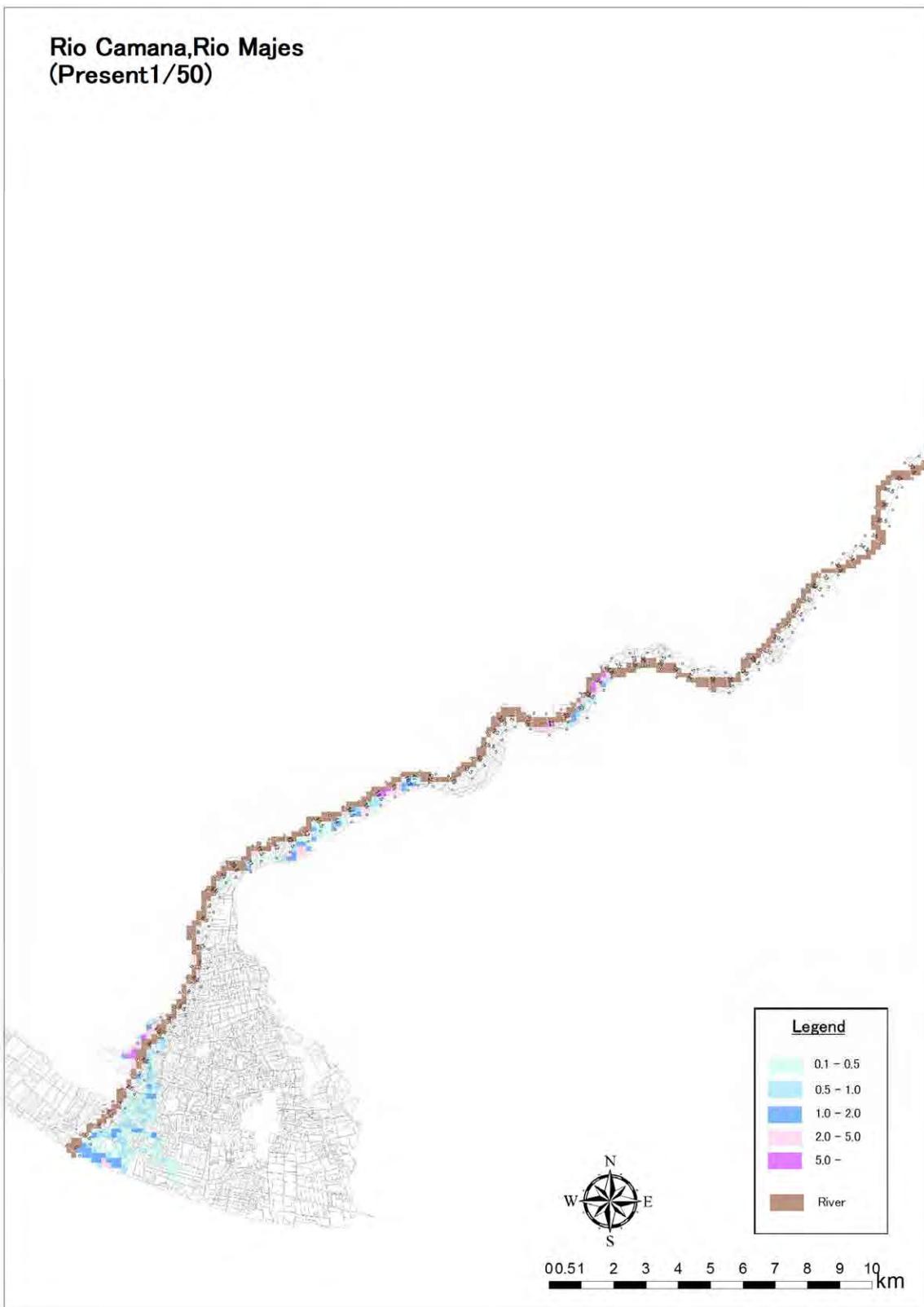


図-3.1.10-17(3) マヘス - カマナ川氾濫範囲 (確率 50 年洪水) (3)

3.1.11 洪水予警報

(1) ピウラ川流域

チラ川の南側に位置するピウラ川流域にはピウラ川下流域における洪水防御システムの再建および修復プロジェクト(Estudio Definitivo para la Reconstrucción y Rehabilitación del Sistema de Defensas contra Inundaciones en el Bajo Piura)のフィーシビリティ調査において洪水予警報システムが開発されている。このシステムはドイツの GTZ および、CTAR – Piura(Consejo Transitorio de Administración Regional de Piura)によって 2001 年に設立された。

このプロジェクトの目的は次のとおりである。

- ・ 洪水予警報に従事する機関を計画し、組織する。
- ・ ピウラ川沿いの重要ポイントにテレメーターネットワークを構築する。
- ・ NAXOS 水文解析モデルを構築する。
- ・ ピウラ川流域沿いのエルニーニョ現象における降雨特性を研究する。
- ・ 地方における健康および農業分野に係わる偶発性と脆弱性の減少計画に関して技術的支援を行う。

洪水予警報活動 (STAT: Sistema de Alerta Temprana) はつぎのように行われる。SENAMI, PECH および DIRESA により運営される 30 ヶ所の降雨、流量観測所のリアルタイムデータをチラーピウラプロジェクトのオペレーションセンターに送り、NAXOS 解析モデルにより処理した後、地域情報センター (CIR)、関連組織およびシビルデフェンスシステムに伝達され、洪水に対して脆弱な地域の被害を軽減するための決定をする。

SIAT は次の機関により締結された国際的協定に基づいて行われる。

- ・ ピウラ州地方政府 (RGP)
- ・ ドイツ開発機構 (GTZ)
- ・ 国立気象・水文機構 (SENAMI)
- ・ ピウラ地方健康局 (DIRESA)
- ・ ピウラ大学 (UDEP)
- ・ ピウラ科学技術コンサルティング協議会 (CCCTEP)
- ・ チラーピウラ特別プロジェクト (PECHP)

SIAT のネットワークは始めはテレメトリックシステムであったが、現在では衛星経由となっている。図-3.1.11-1 にピウラ川流域に設置されている予警報システムと運用のための連絡網を示す。

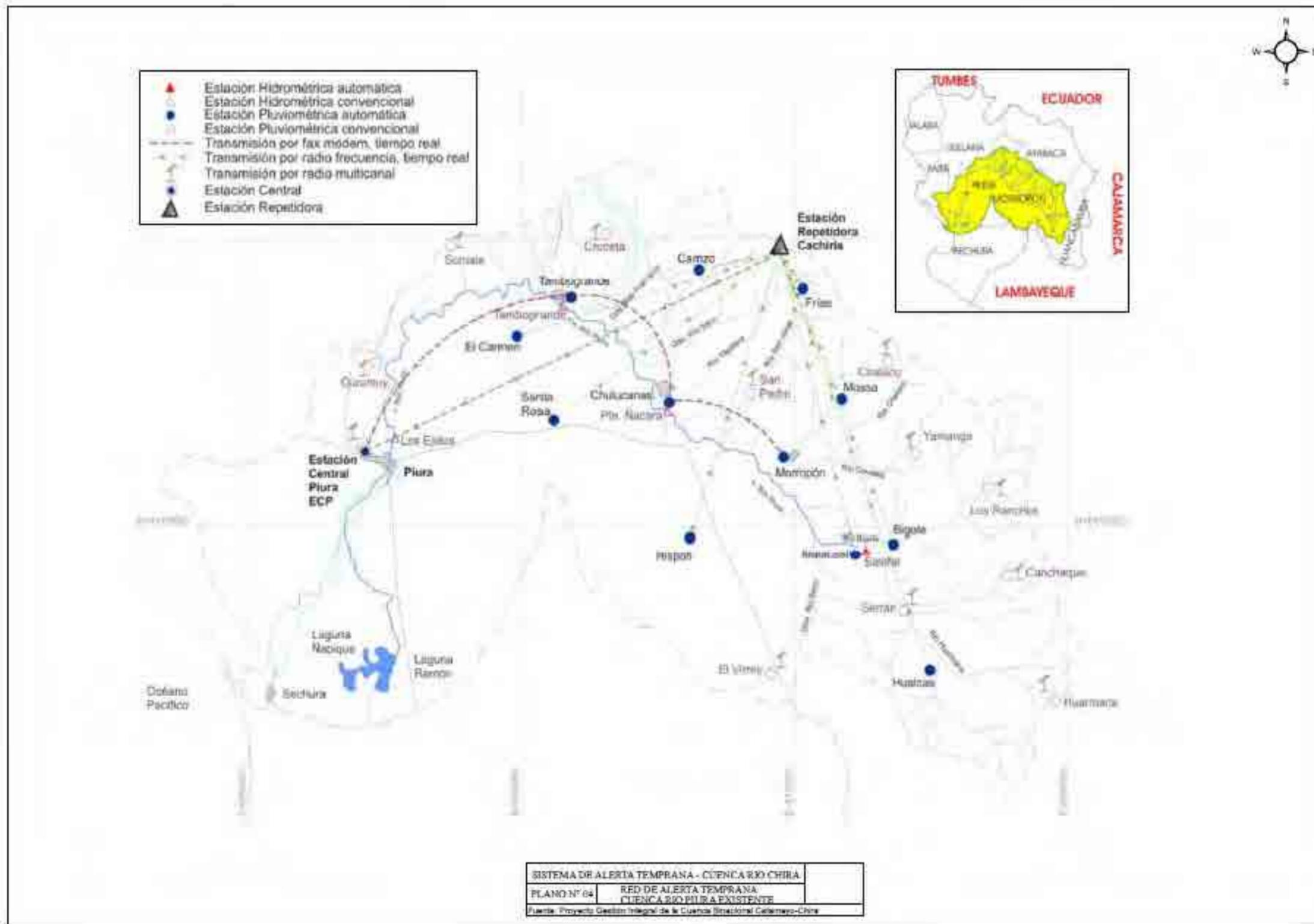


図-3.1.11-1 ピウラ川流域における予警報システム

(2) チラ川流域

チラ-ピウラ特別プロジェクトはチラ - ピウラシステムの特にポエチヨスダムのおペレーシヨンに関しておペレーシヨン情報を得るシステムである。この貯水池は 1971 年以降に建設されており、システムは水文観測所 8 か所、降雨量観測所 7 か所で構成されている。すべての情報はマルチチャンネルによる伝達される。電話通信はこれらの観測所に設備されている。図-3.11.1-2 はそれぞれの情報の収集と伝達を表すものであり、本プロジェクトの第 1 段階の建設時のデーターによるものである。

これは、予報警報情報システム (SIAT) 前処理段階を示す。現在利用されているのは、毎日午前 7 時から午後 7 時まで、マルチチャンネルラジオシステムである。チラーピウラシステムのすべての情報を集積するのはピウラをベースとする観測所である。ここではポエチヨス貯水池やプエンテスジャナの情報が再送される。伝達の系列は次の通りである。

- ・水文気象観測所送受信ラジオ
- ・ベース観測所の送受信ラジオ
- ・データーベースの CP 情報収集
- ・流域の流出降雨量のモデルはない。しかし流域上流と流域下流の流量を転換して等時性の情報として利用している。

表-3.1.11-1 チラ川流域における流量観測所

	観測所	UTM		河川	状態
		N	E		
1	パラヘ・グランデ	9488151	620548	キロス	既存
2	プエンテ・インテル	9515414	616512	マカラ	既存
3	アラモル	9529244	589330	アラモル	既存
4	エシルエロ	9524654	594327	チラ	既存
5	アルディジャ	9503620	567918	チラ	既存
6	ポエチヨス	9482714	552473	チラ	既存
7	プエンテ・スジャナ	9459530	534271	チラ	既存

表-3.1.11-2 チラ川流域における気象観測所

	観測所	郡	地区	流域	UTM		標高	分野	機関
					N	E			
1	アヤバカ	アヤバカ	アヤバカ	キロス	9487823	642699	2700	MAO	SENAMHI
2	チラコ	スジャナ	スジャナ	チラ	9480963	554900	90	MAO	PECHP
3	エシルエロ	アヤバカ	スヨ	チラ	9524654	594327	202	PV-PG	PECHP
4	プエンテナ	アヤバカ	スヨ	マカラ	9515414	616512	408	PV-PG	PECHP
5	パラヘグランデ	アヤバカ	パルマス	キロス	9488151	620548	555	PV	PECHP
6	サビジカ	アヤバカ	サビジカ	チビジコ	9471196	612750	1446	PV	SENAMHI
7	エルパルティトル	ピウラ	ラスロマス	チビジコ	9477296	580134	255	CO	SENAMHI
8	アラモル	スジャナ	ランコネス	チラ	9505457	566997	125	PV	SENAMHI

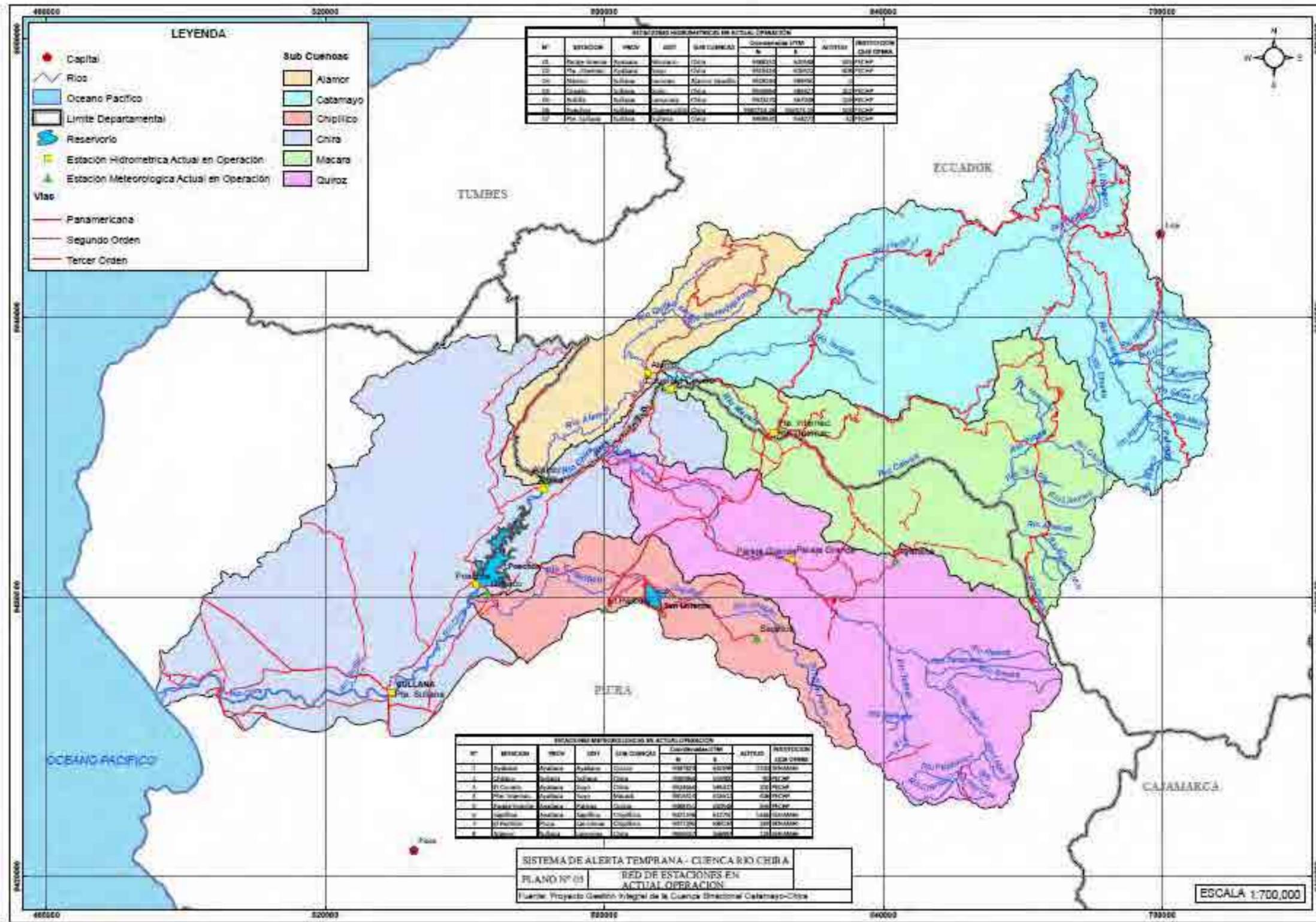


図-3.1.11-2 チラ川流域における観測所位置

3.2 問題の定義と原因

3.2.1 調査対象地域の洪水対策における問題点

現地調査の結果に基づき調査対象地域の6河川における洪水対策上の問題点とこれらに関連する保全対象は表-3.2.1-1に示すとおりである。

表-3.2.1-1 洪水対策における問題点と保全対象

問題点		氾濫			堤防侵食	河岸侵食	取水堰機能不全	分流堰機能不全
		無堤	河床堆積	河幅狭小				
保全対象	農地	○	○	○	○	○	○	○
	灌漑水路					○	○	
	市街地	○		○				○
	道路					○		
	道路橋		○					
	ダム堤体					○		
	天然ガス田				○			

3.2.2 問題点の原因

調査対象地域における洪水対策上の主要な問題点、直接的原因および間接的原因は次に示すとおりである。

(1) 主要な問題点

溪谷地域 (Valles) および地域住民の洪水に対する高い脆弱性

(2) 直接的原因および間接的原因

主要な問題点の直接的原因および間接的原因は表-3.2.1-2に示すとおりである。

表-3.2.1-2 主要な問題点の直接的原因および間接的原因

直接的原因	1. 過大な洪水流量	2. 氾濫	3. 洪水対策施設の維持管理不十分	4. 地域の水防活動が不十分
間接的原因	1.1 エルニーニョなどの異常気象の頻発	2.1 洪水対策施設が未整備	3.1 維持管理の知識能力が不足	4.1 水防活動の知識能力の不足
	1.2 上・中流域の異常降雨	2.2 施設整備の資金不足	3.2 維持管理の訓練不足	4.2 水防活動の訓練の不足
	1.3 上・中流域の植生が殆どない	2.3 流域の治水計画が不十分	3.3 堤防や河岸の維持補修が不十分	4.3 洪水予警報システムの欠如
	1.4 上・中流域からの土砂流出が大きい	2.4 堤防の整備不十分	3.4 取水堰や分流堰の維持補修が不十分	4.4 水文資料の観測・収集の不足
	1.5 河床勾配の変化による流下能力の減	2.5 河道幅の不足	3.5 河床の不法農地化	
		2.6 河床の土砂堆積	3.6 維持管理費用の不足	
		2.7 橋梁部における河幅狭小		
		2.8 橋梁部における河床の上昇		
		2.9 堤防や河岸の侵食		
		2.10 施設設計の能力不足		

3.2.3 問題点による結果

(1) 主要な問題点

溪谷地域（Valles）および地域住民の洪水に対する高い脆弱性

(2) 直接のおよび間接的結果

主要な問題点による直接のおよび間接的結果は表-3.2.3-1 に示すとおりである。

表-3.2.3-1 問題点による直接のおよび間接的結果

直接的結果	1.農業関連の被害	2.住民の直接被害	3.社会インフラの被害	4.その他経済に対する被害
間接的結果	1.1 農作物・家畜の被害	2.1 家屋・私有財産の損害	3.1 道路の損壊	4.1 交通の途絶
	1.2 農地の流失	2.2 事業所・在庫資産の損害	3.2 橋梁の流失	4.2 水防活動・避難のコスト
	1.3 灌漑水路の損壊	2.3 事故、人命の損失	3.3 水道、電力、ガス、通信の被害	4.3 復旧・応急対策コスト
	1.4 取水堰・分流堰の損壊	2.4 営業損失		4.4 地域住民の雇用喪失
	1.5 堤防・河岸の侵食			4.5 地域住民の収入の減少
				4.6 生活の品質低下
				4.7 経済活動の低下

(3) 最終的な結果

主要な問題点による最終的な結果はこれによって影響を受ける地域の社会経済的発展の阻害である。

3.2.4 原因と結果の樹系図

上述の分析結果に基づき原因と結果の樹系図は図-3.2.4-1 に示すとおりとなる。

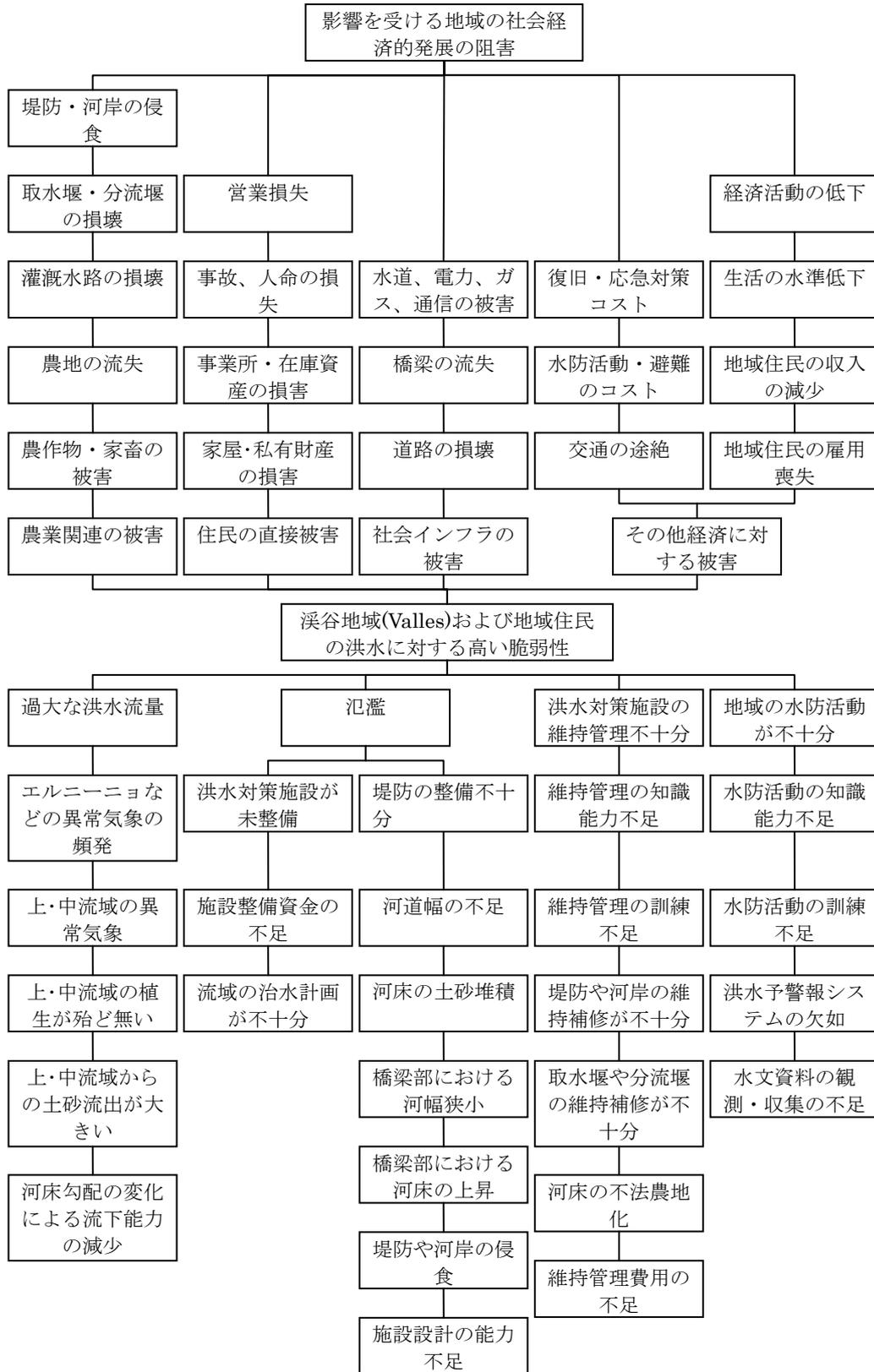


図-3.2.4-1 原因と結果の樹系図

3.3 プロジェクトの目的

プロジェクトの目標とする最終的な結果は溪谷地域 (Valles) および地域住民の洪水に対する高い脆弱性を軽減し、地域における社会経済の発展を促進することである。

3.3.1 主要な問題点を解決する手段

(1) 主要な目的

溪谷地域 (Valles) および地域住民の洪水に対する高い脆弱性を軽減する。

(2) 直接のおよび間接的手段

主要な目的を達成するための直接のおよび間接的手段は表-3.3.1-1 に示すとおりである。

表-3.3.1-1 問題点を解決する直接のおよび間接的手段

直接的手段	1. 過大な洪水流量の解析および軽減	2. 氾濫の防止	3. 洪水対策施設の維持管理の徹底	4. 地域の水防活動奨励
間接的手段	1.1 エルニーニョなどの異常気象の解析	2.1 洪水対策施設の整備	3.1 維持管理の知識能力の強化	4.1 水防活動の知識能力の強化
	1.2 上・中流域の異常降雨量の解析	2.2 施設整備の資金の供給	3.2 維持管理の訓練の強化	4.2 水防活動の訓練実施
	1.3 上・中流域の植生の実施	2.3 流域の治水計画策定	3.3 堤防や河岸の維持補修	4.3 洪水予警報システムの整備
	1.4 上・中流域からの土砂流出の軽減	2.4 堤防の整備	3.4 取水堰や分流堰の維持補修	4.4 水文資料の観測・収集強化
	1.5 河床勾配の変化による流下能力の減少への対策実施	2.5 河道の拡幅	3.5 河床の不法農地化の防止	
		2.6 河床の堆積土砂の掘削	3.6 維持管理費用の増加	
		2.7 橋梁部における河幅の拡大		
		2.8 橋梁部における河床堆積の掘削上		
		2.9 堤防や河岸の侵食防止		
		2.10 施設設計能力の強化		

3.3.2 主要な目的を達成することにより得られる効果

(1) 最終的な効果

主要な目的を達成することにより得られる最終的な結果は溪谷地域 (Valles) および地域住民の洪水に対する高い脆弱性を軽減し、地域における社会経済の発展を促進することである。

(2) 直接のおよび間接的效果

最終的な結果を得るために主要な目的を達成することによって得られる直接のおよび間接的效果は表-3.3.2-1 に示すとおりである。

表-3.3.2-1 直接のおよび間接的効果

直接的効果	1.農業関連被害の軽減	2.住民の直接被害軽減	3.社会インフラの被害軽減	4.その他経済に対する被害
間接的効果	1.1農作物・家畜の被害軽減	2.1家屋・私有財産の損害防止	3.1道路の損壊防止	4.1交通の途絶防止
	1.2農地の流失軽減	2.2事業所・在庫資産の損害防止	3.2橋梁の流失防止	4.2水防活動・避難のコストの減少
	1.3灌漑水路の損壊防止	2.3事故、人命の損失防止	3.3水道、電力、ガス、通信の被害軽減	4.3復旧・応急対策コストの減少
	1.4取水堰・分流堰の損壊防止	2.4営業損失の軽減		4.4地域住民の雇用増加
	1.5堤防・河岸の侵食軽減			4.5地域住民の収入の増加
				4.6生活の品質向上
				4.7経済活動の発展

3.3.3 手段—目的—効果の樹系図

手段—目的—効果の樹系図は図-3.3.3-1 に示すとおりである。

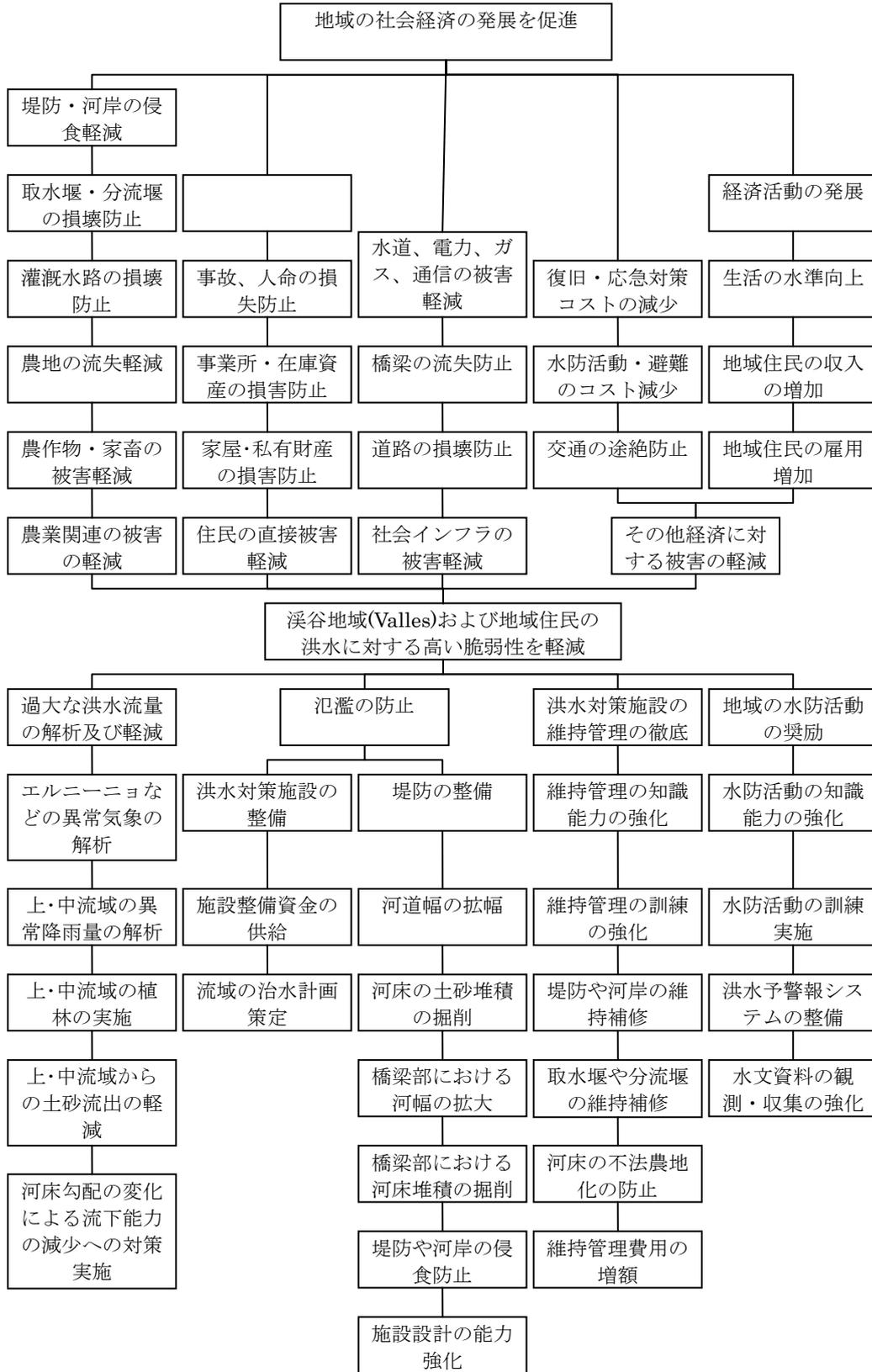


図-3.3.3-1 手段－目的－効果の樹系図