

戦-82 大規模畑作地帯での排水システムの供用性に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 20～平 22

担当チーム：水利基盤チーム

寒地技術推進室

研究担当者：中村和正、小野寺康浩、佐藤智、金田敏和、
細川博明、長畑昌弘、加藤道生、幸田勝、
牧野昌史

【要旨】

北海道内の大規模畑作地帯では、近年湛水被害の頻度が高まる傾向が見られる。そのため、湛水被害の要因や、近年の降雨特性の変化について検討した。

湛水被害の要因検討では、モデル地区として選定した十勝総合振興局管内の地区を対象として流出解析を行った。その結果、単位排水量に与え得る影響の大きさは、降雨量の増加＞土地利用の変化＞降雨波形の変化＞排水システムの整備の順であった。また、排水路の水位上昇は、降雨量の増加と粗度係数の増加による影響が大きいことがわかった。さらに、機能診断の現地踏査や評価で注目すべき点として、排水路の機能劣化の兆候が現れると考えられる護岸上部の法面の浸食などがあげられた。

典型的な大規模畑作地帯であるオホーツク・十勝の両総合振興局管内における長期の雨量データの分析では、近年の傾向として、①100mm/d を超える日雨量の発生頻度が高まっていること、②前線や台風による大雨の頻度が増えてきていること、がわかった。さらに、大雨事例を抽出し降雨の時間分布を分析したところ、大雨の頻度の高い前線や気圧の谷による場合はピークが2つあるタイプが多く、台風では降雨の後半にピークのあるタイプが多いことが明らかになった。また、レーダー雨量の分析を行い、アメダス地点ではとらえられない強雨が多数あること、それらには降雨パターンが短時間型であるものや、下層に暖気、上層に寒気が流入している、あるいは流入しやすい気圧配置となる不安定性が要因となるものが多いことなどがわかった。

農地の排水計画を考えるうえで、局地的な強雨をどのように扱うかを検討するため、レーダーアメダス解析雨量を用いて北海道における確率等雨量線図を作成した。その結果、農地の分布する地域の確率等雨量線図は、地上雨量に基づくものと、局所的な強雨を捉えているレーダーアメダス解析雨量を用いたものとの間に大きな相異はないことがわかった。

キーワード：畑地、湛水被害、大雨、網走、十勝

1. 目的・背景

府県に比べて大規模な北海道の畑作地帯では、50 年以上の長期にわたり直轄明渠排水事業による排水路の整備が進められてきた。しかし、整備後数十年を経過し、近年は数年おきに湛水被害を生じている地区の事例がみられるようになった。その要因として、土地利用変化、上流排水路網の整備進捗、降水の量・波形の変化などによる流出量の増大や、供用開始後の土砂堆積、植生繁茂、護岸の劣化などによる排水路断面の縮小などが想定される。そのため、今後の畑地湛水被害の防止のためには、排水機能変化とこれらの諸要因の関係について定量的な分析を進める必要がある。

平成 20 年度は、代表的な大規模畑作地帯である十勝

総合振興局管内（以降、十勝地域と称する。）とオホーツク総合振興局管内（以降、網走地域と称する。）での湛水被害の全体的な傾向を調査した。その結果から選定したモデル地区に対して、平成 20 年度から排水路の機能診断を行う上で重要な性能の低下因子とその影響度の分析を行った。

また、今後の排水システムの設計に資することを目的として、平成 20 年度には十勝地域、網走地域での降雨形態の変化傾向をアメダスデータにより分析した。さらに、平成 21 年度には、アメダスデータで捉えられない局所的な大雨を把握するため、レーダー解析雨量の整理を行った。平成 22 年度には農地の排水計画における局地的な強雨の扱いの可否を検討するため、レー

ダー解析雨量を用いて北海道における確率雨量分布図を作成した。

なお、この課題では、排水路周辺の環境保全のために設置された排水路分流工の機能検証も行った。

2. 排水路の機能診断に関する検討

2. 1 湛水被害の整理とモデル地区の選定

「災害記録(北海道)」より、最近の10箇年(H8年～H17年)の主要災害における十勝地域および網走地域の市町村別畑地被害状況(被害面積および被害額)を整理した。ここで、畑地被害状況とは、冠水・浸水、倒伏による農作物被害である。

十勝地域の畑地被害面積（図-1）は合計26千haであり、被害面積の多い市町村は、豊頃町、浦幌町、池田町、幕別町、足寄町である。また、畑地被害額（図-2）は合計44億円であり、被害額の大きい市町村は、豊頃町、幕別町、池田町、帯広市、浦幌町である。

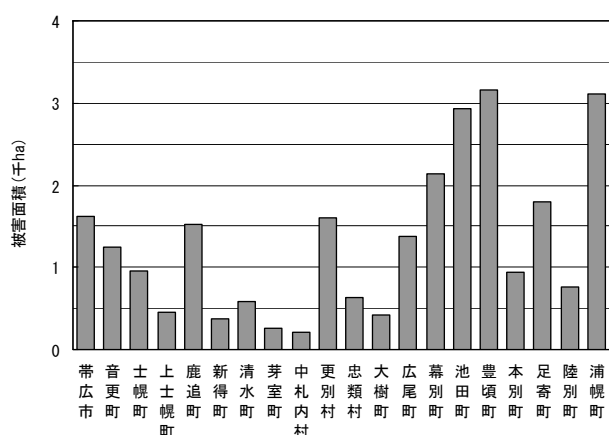


図-1 主要災害による十勝地域の市町村別畑地
被害面積(H8～H17)

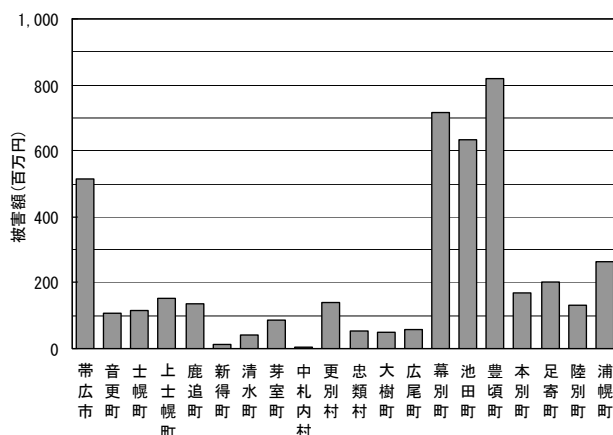


図-2 主要災害による十勝地域の市町村別畑地被害額(H8～H17)

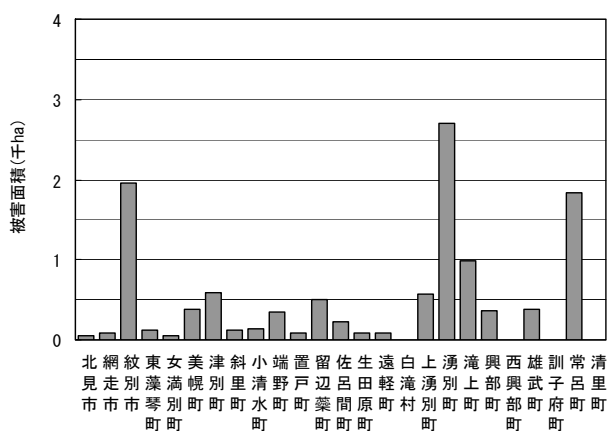


図-3 主要災害による網走地域の市町村別畑地
被害面積(H8～H17)

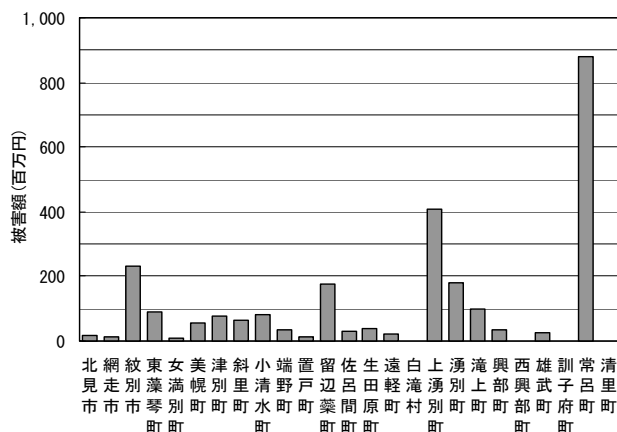


図-4 主要災害による網走地域の市町村別畑
地被害額(H8～H17)

に、それぞれ直轄明渠排水事業で整備された。

2. 2 湛水被害要因の分析¹⁾

2.2.1 方法

(1) 単位排水量に与える影響の検討

単位排水量に与える影響の検討はモデル地区のうち、A 地区と B 地区について実施した。

両地区の造成時諸元(表-1)と現地調査結果から、通水能力を低下させる因子として降雨条件(降雨量・降雨波形)、流域条件(土地利用・排水系統の整備(斜面長))に着目した。これらのうち、1 つの条件を変化させて流出解析と水理計算を行い、どの条件が単位排水量の増大に大きな影響を与えるかを分析した(表-2)。なお、流域条件の変化を加味して単位排水量の変化を算定するため、流出解析手法として簡便化した雨水流法(キネマティックモデル)を採用した。

表-1 モデル地区の諸元 (A 地区、B 地区)

地区名	路線名	計画流量 $Q(m^3/s)$	敷幅 $B(m)$	法勾配 $1:m$	護岸材料
A 地区	A-1幹線排水路	6.6~3.6	4.0~1.0	2.0~1.5	連結ブロック
	A-2幹線排水路	7.4~4.4	2.0~1.0	2.0	連結ブロック
	A-3幹線排水路	25.0~3.4	11.3~1.0	2.0~1.0	連結ブロック等
	A-4幹線排水路	11.6~7.0	3.0~2.0	2.0	連結ブロック
	A-5幹線排水路	4.4~2.5	1.0	2.0	連結ブロック
B 地区	B-1幹線排水路	20.4~4.4	5.0~1.0	2.0~1.5	連結ブロック
	B-2幹線排水路	2.0	1.0	2.0	連結ブロック
	B-3幹線排水路	3.4	1.0	2.0~1.5	連結ブロック

表-2 単位排水量影響度分析検討条件

条件 ケース	降雨条件		流域条件		備考
	降雨量	降雨波形	土地利用	斜面長	
Case-1	現況	旧況	旧況	旧況	
Case-2	旧況	現況	旧況	旧況	
Case-3	旧況	旧況	現況	旧況	
Case-4	旧況	旧況	旧況	現況	A地区のみ
Case-5	旧況	旧況	旧況	旧況	基準値

注: 旧況とは、造成時の状態を意味する。網掛けは条件変更箇所である。

降雨条件と流域条件は下記のように与えた。

1) 降雨条件(降雨量の増加・降雨波形の変化)

降雨条件における旧況とは、造成時の流出解析(単位図法)に用いられている計画基準雨量および降雨波形である。これに対し、現況雨量は最新版の北海道における確率等雨量線図²⁾を用いて算定した雨量であり、A 地区は 103mm から 131mm へ、B 地区は 135mm から 204mm へ増加している。現況の降雨波形は、地区近傍のアメダス地点を選定し、アメダス移行後から現在までの 32 年間(昭和 53 年~平成 21 年)の暖候期(5 月~10 月)大雨事例を収集整理し、代表降雨を選定したものである。降雨波形としては、旧況現況ともに後山型となり、大きな変化は見られなかった。

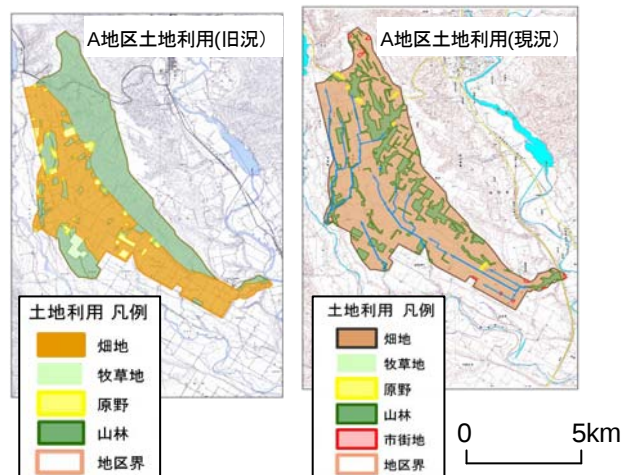


図-5 A 地区における土地利用の変化

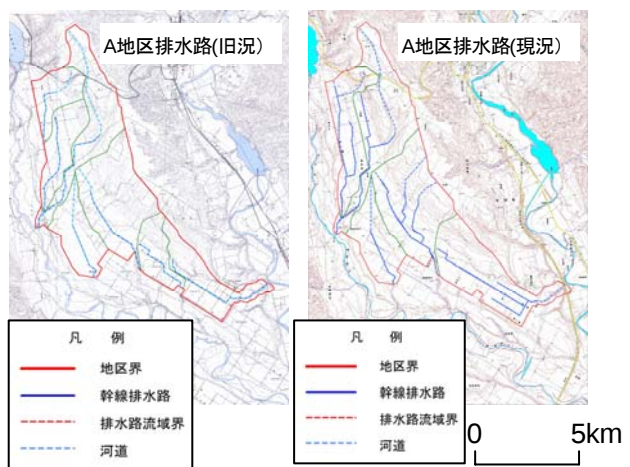


図-6 A 地区における排水路の変化

2) 流域条件(土地利用の変化・排水系統の整備(斜面長))

土地利用の変化は、造成時の現況平面図と最新の地形図から畑地や山林等の面積を算定し(図-5)、それぞれの面積割合を流出解析に用いた。また、幹線排水路の造成後、関連事業によって支線排水路が整備されていたため(図-6)、水路に至るまでの流域幅(斜面長)が短くなるものとして流出解析モデルに代入した。

(2) 排水路の水位上昇に与える影響の検討

排水路の水位上昇に与える影響の検討は全てのモデル地区で実施した。

モデル地区の排水路の水位を上昇させる因子として降雨条件(降雨量・降雨波形)、流域条件(土地利用)、施設条件(粗度係数の増加)に着目した。これらのうち、1 つの条件を変化させて流出解析と水理計算を行い、どの条件が水位上昇に大きな影響を与えるかを分析した(表-3)。なお、ここでも流出解析手法としては簡便化した雨水流法(キネマティックモデル)を採用し

た。

降雨条件、流域条件、施設条件は下記のように与えた。

1) 降雨条件(降雨量の増加・降雨波形の変化)

降雨量の増加は、降雨規模が現在では旧況から 1.2 倍～1.6 倍に増加している傾向から、降雨規模が 1.4 倍となった場合を想定した。降雨形態の変化は、旧況では後山型となっているが、現況では C 地区において後山型から中山型に変化している状況を踏まえ、中山型を想定した。

2) 流域条件(土地利用の変化)

土地利用の変化は、旧況時点から 20 年程度が経過し、農地開発事業等により山林から畑地への転換が進んでいる状況を踏まえ、旧況時点から畑地が 10%増加することを想定した。

3) 施設条件(粗度係数の増加)

粗度係数は経年的変化として生じうる値として、0.03 から 0.06 に増加することを想定した。

表-3 水位上昇影響度分析検討条件

ケース	降雨条件		流域条件	施設条件	備考
	降雨量の増加	降雨波形の変化	土地利用の変化 (山林→畑)	粗度係数の増加	
Case-1	増加	旧況	旧況	旧況	
Case-2	旧況	変化	旧況	旧況	
Case-3	旧況	旧況	増加	旧況	
Case-4	旧況	旧況	旧況	増加	
Case-5	旧況	旧況	旧況	旧況	基準値

注: 旧況とは、造成次の状態を意味する。網掛けは条件変更箇所である。

2.2.2 結果

(1) 単位排水量に与える影響の検討

表-2 に示した条件で単位排水量を算定した結果、両地区とも降雨量の増加(Case-1)によって単位排水量が最も大きくなり、影響の大きさは降雨量の増加>土地利用の変化>降雨波形の変化>排水系統の整備の順であった(表-4)。この結果に基づき、モデル地区の代表

表-4 流出解析結果

	単位排水量(m ³ /s/km ²)	
	A地区	B地区
Case-1	1.3 (1.86)	2.3 (2.30)
Case-2	0.9 (1.29)	1.1 (1.10)
Case-3	1.0 (1.43)	1.2 (1.20)
Case-4	0.8 (1.14)	—
Case-5	0.7 (—)	1.0 (—)

注: () は、Case5(基準値)に対する割合

箇所(5路線 37 断面)における洪水流出量を求めて水理計算を行い、水位上昇量と流速増加量を算定した。最も水位が上昇する Case-1 において、溢水の恐れありと試算されたのは、37 箇所中 4 箇所であり、全て B-1 幹線で生じていた。それ以外の地点においても水位は上昇するものの、溢水にまでは至らないと算定された。単位排水量が増加しても溢水を生じにくい場合があるのは、排水路切深が暗きょ排水の排水口の深さを考慮して決められるため、洪水時にも水深上昇に対して若干の余裕を有する場合があることによると考えられる。

(2) 排水路の水位上昇に与える影響の検討

表-3 に示した条件で水位上昇率を算定した結果、全ての地区において、影響度が大きかったのは降雨量の増加(Case-1)と粗度係数の増加(Case-4)であった(表-5)。これらの影響で排水路の水位は 3 割から 5 割程度上昇する結果となった。

表-5 水位上昇率計算結果

	水位上昇率 (%)			
	A地区	B地区	C地区	D地区
Case-1	49	34	25	28
Case-2	-4	-18	-21	-23
Case-3	5	4	5	4
Case-4	39	39	38	40
Case-5	—	—	—	—

2.2.3 排水路の機能診断の着目点

施設機能診断は、平成 19 年度から順次発行されているストックマネジメントマニュアル(以下、「マニュアル」と記す)を参考に実施されているが、北海道の排水路に多い連結ブロック護岸水路の診断に適用可能なマニュアルは未整備の状況であり、診断実務上対応に苦慮する場合も多い。今回の流出解析からは、連結ブロック護岸水路における機能診断の着目点を次のように考えることができる。

排水路に求められる性能には、洪水時に計画洪水量を安全に流下させる性能と平常時に圃場の地下水位を適正に保つ性能³⁾がある。これらの性能を満足するため、護岸の高さや護岸材の重量、切深等が設定されることから、排水路の機能診断としてはこれらの性能低下に着目する必要がある。

結果で述べたように、モデル地区の 5 路線 37 地点のうち、33 地点については溢水しないと推定されたが、これらの地点においても水位・流速は上昇したため、造成時の護岸高や護岸重量では能力不足や断面崩壊の危険性が増大していると考えられる。この様な状況の兆候としては、護岸上部の法面の浸食や落差工下流側

の洗掘が生じると考えられるため、機能診断の現地踏査や評価においてはこれらの点に注目する必要がある。

3. アメダスデータによる降雨形態変化傾向の分析⁴⁾

3.1 方法

3.1.1 基本統計の整理

大規模畑作地帯である網走地域および十勝地域を調査対象とし、気象官署およびアメダス地点における観測開始年から2007年までの5月～10月の雨量データを収集した。データを収集した地点数は、十勝地域で36地点、網走地域で32地点である。また、これらのデータを用いて1時間雨量や日雨量などの長期変化傾向を整理した。

3.1.2 大雨の要因とパターンの整理

対象地点における1978年以降の時間雨量データから大雨事例を抽出した。収集したデータから、対象地域で1地点でも日最大時間雨量が30mm以上または日雨量が80mm以上となったケースを大雨として抽出し、降雨成因、ピーク雨量、降雨パターン、通過コース等を整理した。

3.2 結果の概要

3.2.1 大雨の長期変化傾向

年最大の日雨量(1976年～2007年)を例として雨量の増加傾向をみると、網走地域(表-6)では、1991年までは100mm以上の地点数が、多くても6地点程度であったのに対し、1992年以降は10地点以上となる年が増加傾向にあった。また、十勝地域(表-7)では、1998年前後から100mmを頻繁に超える地点が増加していた。

同様の整理をもとにして、地域別大雨の出現状況の長期変化傾向を表-8に示す。網走地域では、1992年

頃から年最大雨量の増加傾向が見られた。これに対し十勝地域では、網走地域に比べて数年遅れて増加傾向が見られた。

3.2.2 大雨の成因とピーク雨量

3.1.2で述べた条件を満たした計102件の大雨事例の要因ごとの出現頻度の長期変化を図-7に示す。大雨要因については、前線が1976-1986年から1987年以降で増加傾向にある。一方で、気圧の谷を発生要因とする大雨の出現頻度は、1987年以降は少なくなっている。また台風による大雨は増加傾向にある。その他の要因については出現頻度の時間的な推移は明確でなかった。

また、通過コースについては、台風は上陸もしくは北海道を危険半円側として通過するケースが増加傾向にあり、前線も直上を通過もしくは直上に停滞するケースが増えてきている。

大雨の要因ごとの地点最大時間雨量および地点最大日雨量を表-9に示す。地点最大時間雨量の平均値の最大値(台風で38.0mm/h)と最小値(温帯性低気圧で30.3mm/h)の比は約1.3である。これに対し、地点最大日雨量の平均値では、最大値(台風で175.1mm/d)と最小値(57.4mm/d)の比は、約3.1である。

このように地点最大日雨量では要因別に大きな差があるのに対し、地点最大時間雨量には大きな差がないことから、台風などに比べて最大日雨量の小さい前線や気圧の谷による大雨であっても、台風とほぼ同じ強度を持つ局所的な強雨域を含んでいると考えられる。

3.2.3 大雨の降雨パターン

大雨事例の降雨パターンを整理するため、雨量の大きい時間が出現した時間によって降雨パターンを分類した。降雨パターンの代表例は次の通りである(図-8

表-6 年最大日雨量(網走地域)

色の凡例

100～199mm

200～299mm

300mm以上

地点	1976	1977	1978	1979	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	
雄武	44	71	41	67	74	119	45	62	75	39	50	42	59	50	58	90	100	40	75	71	51	83	140	59	122	121	86	29	42	76	65	51	
興部	56	90	43	72	78	89	60	61	65	36	50	45	57	45	69	82	93	45	82	40	53	97	148	36	122	89	70	29	65	84	92	50	
西尾沼	48	80	84	94	42	95	70	50	62	43	55	59	113	55	85	118	71	41	90	28	52	53	161	32	136	63	59	29	34	80	162	59	
紋別1	32	77	62	79	70	58	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
紋別	0	0	0	0	0	0	0	52	63	54	49	45	53	43	54	124	100	50	89	42	46	57	150	32	129	78	73	37	42	93	89	37	
紋別小間	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	34	86	85	40	
湧別	31	66	79	77	67	47	47	32	55	41	70	37	54	44	58	88	109	53	84	38	49	39	102	40	122	99	52	48	42	97	96	20	
湧上	34	76	77	89	44	82	50	31	56	41	60	41	57	66	60	142	66	53	85	46	52	27	110	36	142	74	57	31	58	60	149	42	
上湧別	59	73	76	111	50	74	79	36	60	75	72	83	78	60	41	100	100	61	94	53	37	35	185	49	121	86	74	25	44	92	183	63	
常呂	37	59	138	89	81	45	38	36	64	41	66	44	52	70	37	51	142	65	71	46	43	35	84	38	86	104	46	61	47	56	79	28	
遠軽	47	64	63	97	50	76	54	32	48	72	72	59	57	55	64	90	56	89	43	39	34	124	51	95	101	79	55	45	69	206	47		
佐呂間	44	48	61	84	54	56	47	62	57	107	77	53	66	63	48	44	163	72	89	52	41	32	110	59	84	110	92	68	35	89	166	70	
網走	35	40	62	97	76	50	46	31	46	51	73	59	44	50	75	57	163	49	74	45	37	40	69	51	83	121	52	61	41	37	81	36	
宇敷石	35	60	69	97	79	241	111	56	60	63	78	44	222	102	130	82	174	140	70	41	51	85	108	153	134	90	142	76	49	57	106	68	
丸瀬布	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	71	76	48	60	47	51	53	86	55	80	41	39	25	137	60	110	103	52	47	50	62	119	56
白滝1	19	45	72	71	36	172	49	35	31	56	58	32	49	53	44	65	76	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
白滝	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	74	36	41	27	90	46	83	100	52	65	44	112	40		
生田原	38	48	55	82	43	85	48	26	64	69	79	43	67	49	40	28	87	51	83	62	38	29	105	56	85	119	63	57	38	65	134	39	
仁田山1	34	55	131	106	56	40	62	49	52	76	85	12	39	52	37	24	136	49	103	35	38	31	108	32	80	116	128	68	43	80	0	0	
仁田山	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	58
北見	44	38	52	98	47	45	57	34	39	53	76	52	65	43	60	42	100	72	72	42	37	36	78	45	69	145	52	56	70	47	105	54	
女満別	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	28	46	115	28
東温室	0	0	41	120	47	47	46	38	28	80	87	50	42	85	44	51	153	41	74	45	56	42	84	54	67	111	51	69	39	48	107	30	
小清水	40	51	40	90	45	40	44	32	24	49	79	44	34	44	46	67	215	49	78	47	51	47	78	54	86	118	49	81	45	40	90	55	
斜里	39	64	44	83	29	47	37	29	54	75	41	79	39	67	61	193	43	77	56	52	47	75	49	59	100	56	94	35	32	60	34		
留辺蘂	44	45	38	85	38	111	55	30	32	78	83	41	76	86	59	36	82	46	74	34	40	79	95	58	73	131	78	69	61	107	107	57	
留辺蘂山	26	34	34	65	39	36	56	33	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
境野	0	40	31	108	40	48	78	42	32	56	87	37	53	60	47	34	90	54	71	45	37	40	69	51	68	137	67	72	45	106	108	39	
滝野	39	43	34	84	41	40	56	39	82	61	93	43	67	53	35	52	136	63	66	34	49	38	72	61	66	115	52	69	31	37	88	30	
滝野山	41	61	65	110	49	130	61	60	53	105	119	8	31	92	46	34	186	56	82	64	58	40	144	33	70	140	87	109	55	78	154	49	
鹿戸常元	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	60
チミケツツ山	34	39	84	92	54	43	67	34	39	71	92	5	54	50	40	26	116	27	96	51	41	54	94	0	59	150	58	11	0	0	0	0	
津別1	36	35	39	91	36	53	61	32	34	78	92	57	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
津別	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	53	39	50	133	83	71	52	49	42	81	50	56	149	49	73	56	44	130	29	
北見中山	26	45	33	84	41	161	76	66	49	92	99	4	38	103	37	42	83	47	76	42	37	51	128	44	72	145	89	90	44	127	0	0	
津別二文	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	121	57

表-7 年最大日雨量（十勝地域）

色の凡例 100～199mm 200～299mm 300mm以上

地点	1976	1977	1978	1979	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		
三頭山	40	45	69	64	43	221	29	38	36	91	57	68	41	120	56	69	115	52	0	33	21	58	125	46	50	131	69	92	44	112	0	0		
三股	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	133	65	
小利別	0	0	0	0	0	0	0	29	41	76	88	38	51	75	55	42	109	55	85	45	60	50	138	75	50	147	70	87	46	123	135	49		
常陸山	54	47	75	74	49	278	51	40	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78	
56別	35	31	53	53	33	53	67	95	41	76	78	45	67	56	52	36	97	97	58	65	44	38	63	102	101	62	122	71	95	43	87	129	45	
稚産高地	31	27	36	69	33	56	88	77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
糠平	74	58	57	76	71	303	130	82	69	85	110	78	82	189	105	152	127	99	133	60	66	105	157	90	137	128	107	111	57	235	167	77		
小坂山	78	49	71	54	51	52	166	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
柏宮	0	0	0	0	0	0	0	23	62	82	67	40	87	122	85	78	67	54	62	66	49	55	132	99	93	111	84	128	49	134	146	63		
上笠谷	27	27	50	61	56	41	60	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
上飯沼	0	0	0	0	0	0	0	20	33	65	94	39	131	80	76	50	112	58	59	41	39	61	104	79	98	110	79	98	48	75	97	44		
西スツカウシ山	48	58	70	64	49	322	64	72	46	65	107	85	48	108	73	93	67	84	79	80	38	69	101	60	42	121	64	95	78	119	121	57		
上土橋	44	62	64	72	43	129	109	51	39	76	74	48	130	117	86	80	67	63	70	61	40	68	111	85	79	106	67	107	49	118	172	48		
横山	38	38	45	51	40	104	74	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
足寄	39	40	44	77	53	57	73	41	53	58	68	51	66	132	59	75	101	54	63	53	37	67	84	72	64	87	79	117	44	103	99	40		
佐賀岳	49	56	58	72	56	255	69	54	44	58	76	64	71	94	69	82	96	67	53	89	67	81	82	59	102	150	53	144	68	97	46	66		
三角山	37	40	65	54	36	222	47	50	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
押寄	0	0	0	0	0	0	0	49	44	66	80	61	88	142	76	86	76	54	74	49	49	83	110	74	72	90	88	130	44	125	74	58		
本別	41	26	51	78	42	79	33	47	33	72	89	47	144	118	55	57	103	61	64	39	42	77	92	69	79	93	105	126	44	91	84	46		
新得	54	53	58	92	60	271	75	39	50	83	61	49	105	115	70	101	93	67	60	89	56	98	98	72	94	129	96	124	66	91	137	59		
鹿追	45	54	62	65	42	272	65	47	42	55	79	52	110	86	52	39	58	70	70	81	45	90	77	81	73	116	61	106	53	81	137	45		
駒追	0	49	55	60	43	60	66	64	60	64	89	53	142	104	51	84	72	59	77	77	47	87	91	74	70	91	75	105	48	103	111	55		
70	56	70	73	116	53	278	78	50	54	80	74	50	98	97	73	73	65	91	68	72	46	81	137	75	75	131	74	138	57	90	84	66		
帯広1	61	49	73	94	51	146	62	63	61	88	86	45	174	105	67	76	69	103	73	61	46	77	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
帯広2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	76	89	130	118	145	58	100	75	83			
池田	53	65	67	91	51	112	53	57	56	62	92	52	133	82	80	91	73	52	47	55	66	77	104	76	93	102	138	150	55	112	76	87		
留真	0	0	0	0	0	0	0	0	47	77	114	50	96	181	86	87	102	71	52	53	75	84	108	78	93	77	170	134	43	90	89	86		
浦幌	98	58	64	104	56	51	36	54	50	65	134	63	133	161	93	95	93	55	62	58	76	73	132	78	92	86	157	103	54	117	91	102		
60	272	71	82	47	222	122	48	28	84	66	55	89	103	72	120	82	84	76	74	63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
帯広南	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
糠内	0	0	15	134	55	190	94	65	110	103	90	76	232	150	154	88	76	125	99	64	61	80	159	96	111	113	152	135	63	104	86	133		
上礼内	0	39	63	143	58	326	63	62	56	97	75	70	117	120	97	104	77	156	109	77	64	81	198	94	115	156	103	163	87	113	120	88		
大津	0	50	63	142	66	262	55	67	75	110	78	72	73	135	72	99	63	200	84	70	66	81	235	110	117	150	126	153	76	116	131	119		
東別	0	32	72	130	57	69	50	74	64	89	139	74	150	204	100	104	100	74	56	65	76	64	149	106	77	96	154	82	55	115	106	129		
ひょうたん沢	83	52	67	102	64	282	82	60	60	42	77	71	103	127	86	92	54	136	100	93	86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
83	64	76	67	129	65	146	122	76	76	123	86	86	244	146	95	130	81	218	73	106	93	92	313	137	122	134	129	122	75	146	74	171		
広尾	111	116	99	212	97	145	71	90	69	170	99	115	126	215	133	143	113	241	118	122	141	138	346	154	151	138	174	137	105	165	119	249		

表-8 地域別の大雨の長期的傾向

年最大値	網走地域	十勝地域
30分雨量	2002年前後から増加傾向 2006年にこれまでにない降雨	1998年から増加傾向
1時間雨量	1992年以後増加傾向 2006年にこれまでにない降雨	2000年以後増加傾向
6時間雨量	1992年以後増加傾向	2001年前後から増加傾向
12時間雨量	1992年以後増加傾向	2000年以後増加傾向
24時間雨量	1992年以後増加傾向	1997年前後から増加傾向
日雨量	1992年以後増加傾向	1998年前後から増加傾向
2日雨量	1992年以後増加傾向	1998年前後から増加傾向
3日雨量	1992年以後増加傾向	1998年前後から増加傾向

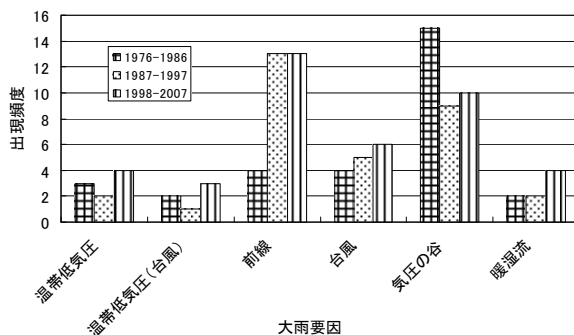


図-7 大雨の発生要因の経年変化

表-9 大雨要因ごとの雨量の特徴

大雨発生要因	地点最大時間雨量			地点最大日雨量		
	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値
温帯低気圧	39	23	30.3	204	91	130.0
温帯低気圧(台風)	58	14	33.8	249	85	154.0
前線	65	25	34.7	172	32	79.9
台風	64	20	38.0	346	64	175.1
気圧の谷	65	30	37.5	119	30	57.4
暖湿流	52	16	33.8	241	38	122.1

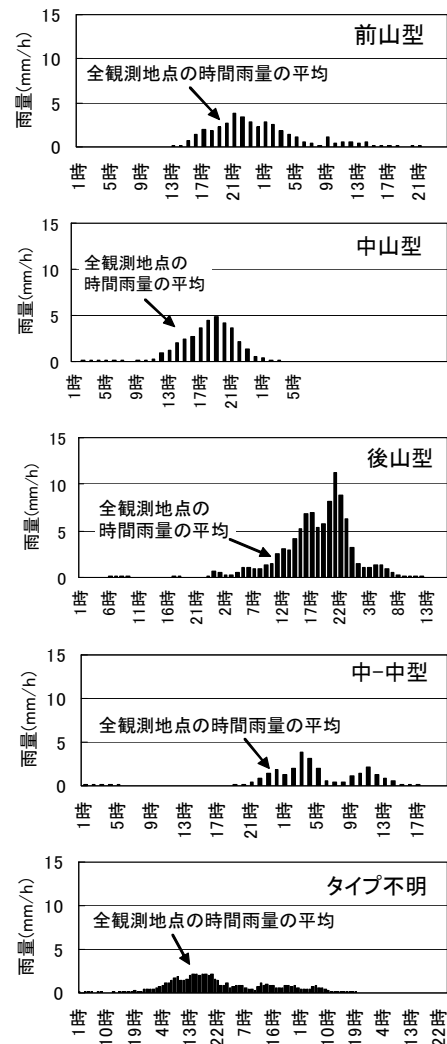


図-8 降雨パターンの分類例

参照)。

- 1) 前山型：雨量のピークが前方にあるものである。
- 2) 中山型：雨量のピークがほぼ中央に位置するものである。
- 3) 後山型：雨量のピークが、降雨期間の終了付近に位置するものである。
- 4) 複合型：雨量のピークが複数見られるものである。それぞれのピークの出現時期によって「中一中」型「中一後」型のように分けた。
- 5) 不明：弱い降雨が長続きして大きな雨をもたらし、雨量のピークがはっきりしないものである。

降雨パターンごとの大雨出現頻度を図-9に示す。大雨事例の降雨パターンとしては、中山型の複合型である「中一中」型が30事例と最も多く、中山型が23事例と続く。すなわち、降雨の中盤が強い雨となる事例が多く、そのような雨が繰り返し出現する場合に大雨となることが示される。また、降雨パターンについては、後山型、「中一中」型が増加傾向にあることがわかる。

次に、大雨成因別・降雨パターン別の大雨発生件数を表-10に示す。成因として比較的件数の多い前線、気圧の谷で降雨パターンを見ると、両者とも中一中型が多い。また、成因として3番目に多い台風では、後山型がよく見られる。これは、台風が近づくにつれて次第に雨が大きくなり、通過前に最も強い降雨をもたらすという、台風の構造と一致する。

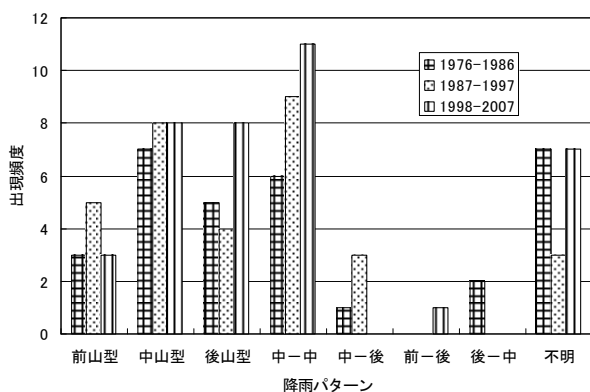


図-9 降雨パターンごとの大雨出現頻度

表-10 大雨要因と降雨パターン

番号	乱名	事例数	前山型	中山型	後山型	中一中	中一後	前一後	後一中	不明
1	温帯低気圧	8	1	4	2	1				
2	温帯低気圧(台風)	6	1	2	2					1
3	前線	29	2	5	3	12			1	6
4	台風	16	1	2	8	4	1			
5	気圧の谷	34		8	4	11				10
6	暖湿気流	9		2	2	2				3
	合計	102	5	23	21	30	1	1	2	19

4. レーダー雨量を用いた局所的強雨の検討⁵⁾

4.1 強雨の抽出方法

気象庁レーダーアメダス解析雨量(CD-ROM)の網走地域と十勝地域の1988年～2008年の5～10月のデータから、特別雨量値を収集した。これらのデータから、対象領域で1メッシュでも日最大時間雨量が30mm以上または日雨量が80mm以上となったケースを抽出した。

抽出に際しては日最大時間雨量により「強雨日」の順位付を行い、上位100位までを降雨の要因やパターンの分析の対象とした。なお、降雨が2日以上にまたがる場合にはその“ひとあめ”を一つの「強雨日」とした。

4.2 結果

4.2.1 強雨の検出数のアメダスとの比較

抽出された事例は、合計606件であった。

上位100位までのうち、3章で整理の対象としていなかった2008年の強雨を除くと、91事例となる。このうち、3章のアメダスデータで見つからなかったものは、約70%に相当する64事例であった。

4.2.2 アメダスで検出されなかった事例

レーダー雨量では強雨と判定されたものの、アメダスでは検出されなかった事例を、最大時間雨量を記録したメッシュ近傍の境野アメダスのハイトグラフとともに図-10に示す。この事例では、境野アメダスにおいても降雨は記録されているが、最大時間雨量は10mmと最大時間雨量100mmを記録したメッシュの1/10と著しく少ないことが分かる。

図-10の例は、強雨域がある程度の延長を有しているものである。アメダスでは検出できなかった強雨の事例としては、強雨域が狭く、延長の比較的短いものもある。

上位100位までのうち、2008年の事例を除く91事例を、降雨の要因やパターンで分類し、さらにアメダスがとらえたか否かで区分して出現数を整理したものを図-11と図-12に示す。なお、要因の分類の中で「不安定性」を設けている。雨が降る際の大気の状態は全て不安定であり、他の気象じょう乱も不安定であるので言葉としては必ずしも適切ではないが、ここで用いている「不安定性」とは、他の分類に属さず、下層に暖気、上層に寒気が流入している、あるいは流入しやすい気圧配置になっているものを指すこととした。

これらの図から、レーダー雨量では把握できるが、アメダスでは把握しにくい強雨として、要因が不安定性であるものや、降雨パターンが短時間型であるものがあげられる。

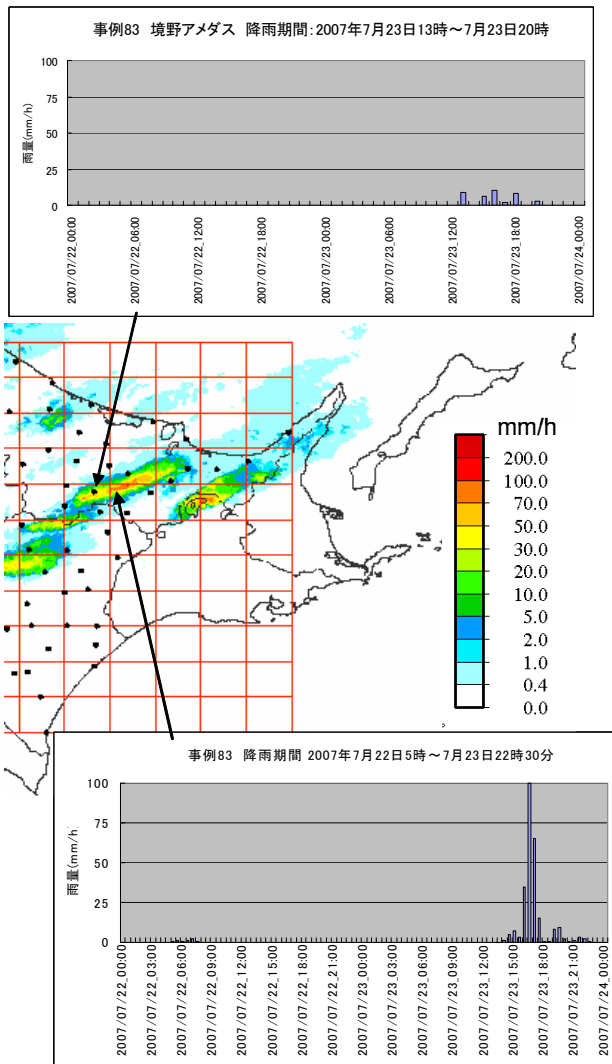


図-10 アメダスでは検出されなかった強雨の事例
(2007年7月23日13時~20時)

4.2.3 不安定性によるものや短時間型の強雨の増減

抽出された強雨の上位100位までの事例には、4.2.2で述べたように、強雨域がある程度の延長を有し、必ずしも局所的といえないものもあるが、ここでは要因が不安定性であるものや、降雨パターンが短時間型であるものの出現の経年変化について検討する。

局所的な強雨が増えているか否かを議論するためには、本来、出現数の経年変化で評価するべきである。しかし、レーダー雨量のメッシュ区切りや時間間隔の変遷(表-11)が、「1メッシュでも日最大時間雨量が30mm以上または日雨量が80mm以上となったケース」という基準による抽出数に対して影響を与えてしまう。それゆえ、出現数ではなく、出現割合の経年変化をみることにする。

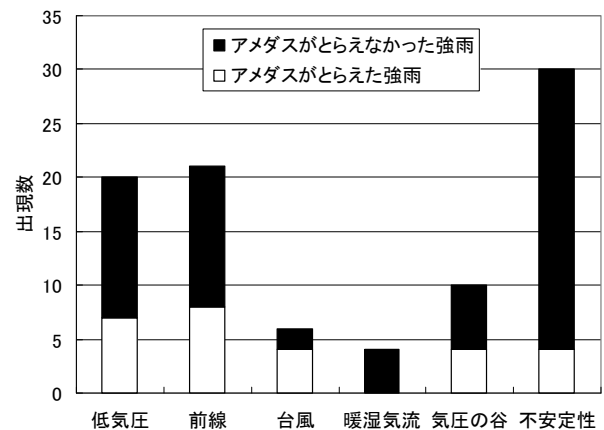


図-11 アメダスがとらえなかった強雨
(要因で区分)

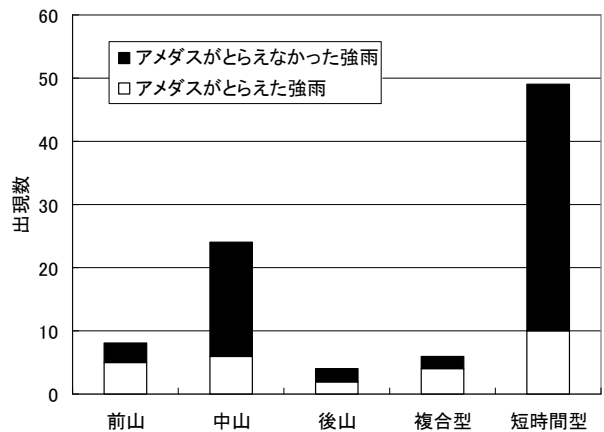


図-12 アメダスがとらえなかった強雨
(降雨パターンで区分)

表-11 気象庁レーダーアメダス解析
雨量の変遷

年 月	メッシュ区切り	時間間隔	測地系
1988年~ 2001年3月	5km四方	1時間	日本測地系
2001年4月~ 2003年5月	2.5km四方	1時間	日本測地系
2003年6月~ 2005年12月	2.5km四方	30分	世界測地系
2006年1月~	1km四方	30分	世界測地系

図-13と図-14は、解析期間を2期間に区分し、各期間における強雨の抽出数に対する降雨の要因ごと、パターンごとの出現割合を示したものである。これらでみると、短時間型や不安定性による強雨の出現割合は、わずかではあるが近年増えている。

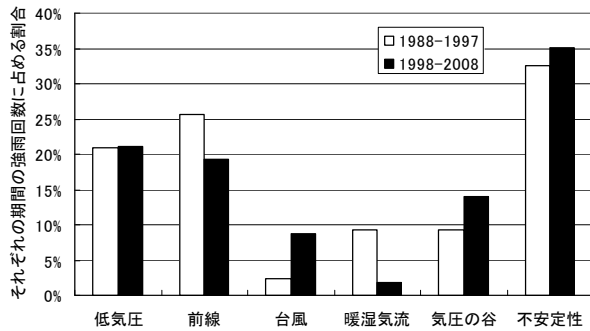


図-13 降雨要因ごとの出現割合の変化

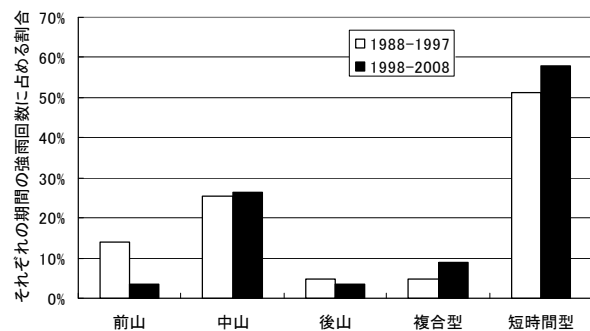


図-14 降雨パターンごとの出現割合の変化

5. レーダー雨量を考慮した確率雨量の検討⁶⁾

5.1 方法

5.1.1 レーダー雨量による10年確率値メッシュの作成

直近10年間のレーダーアメダス解析雨量を用いて、全道メッシュを対象に、上位30位まで非毎年最大値資料（以下、PDSと称する）によって10年確率雨量メッシュ分布図を3時間/6時間/12時間/24時間/1日/2日/3日雨量を対象雨量として作成した。PDSの計算では、確率分布に一般化パレート分布、到達率にはポアソン分布を用いた。対象とした年は2000年～2009年の10年間で、各年の5月～10月のデータを用いた。メッシュサイズは、2000年は5km、2001年～2005年は2.5km、2006年以降は1kmである。メッシュ毎に算出したレーダー雨量による確率雨量と、排水計画で用いられている地上雨量データに基づいて作成された10年確率雨量の確率等雨量線図とを比較した。

5.1.2 地上雨量による10年確率雨量の計算

地上雨量の解析には、北海道内における統計期間が30年以上のアメダス地点の雨量データを用いた。これらの地点毎の3時間/6時間/12時間/24時間/1日/2日/3日雨量を対象雨量として、毎年最大値資料（以下、AMSと称する）で整理し、10年確率雨量の計算を行った。AMSの確率計算には岩井法を用いた。対象とした年は

1980年～2009年の30年間で、各年の5月～10月のデータを用いた。

5.2 結果

5.2.1 レーダー雨量による10年確率値

アメダス地点の地上雨量とレーダー雨量による確率雨量（1日雨量）の関係を図-15に示す。両者は概ね直線関係にはあるものの、点のバラツキがみられる。また、レーダー雨量による確率雨量は、地上雨量による値に比べて小さい傾向にある。これは、地上雨量は1地点の値であるのに対して、レーダー雨量はメッシュ内の平均的な値であるためと考えられる。両者の差の平均と標準偏差を図-16に示す。差の平均と標準偏差は対象雨量によらずほぼ一定であり、地域的な差の偏りは明瞭ではなかった。なお、差の算出は次式によった。

$$e = \frac{R_R - R_G}{R_G} \times 100$$

e : 確率雨量の差 (%)

R_R : レーダー雨量から算出した確率雨量 (mm)

R_G : 地上雨量から算出した確率雨量 (mm)

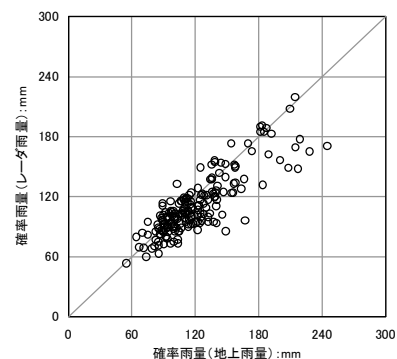


図-15 地上雨量およびレーダー雨量から計算した確率雨量の関係（1日雨量）

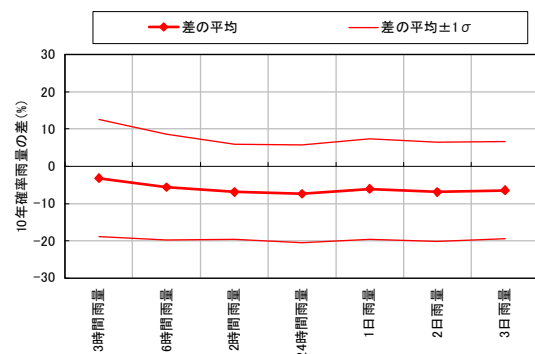


図-16 地上雨量とレーダー雨量から計算した確率雨量の差

地上雨量とレーダー雨量、また、それらから計算される確率雨量は、絶対値には差はあるものの、相対的な大小関係は、レーダー雨量による確率計算によって客観的に示すことができると考えられる。

5.2.2 レーダー雨量による確率雨量分布推定の試み

5.2.1 で示したように、レーダー雨量で算出した確率雨量は、地上雨量から算出した確率雨量と差はあるが、相対的な大小関係は捉えていた。そこで、2つの確率雨量の差に着目してレーダー雨量による確率雨量分布（以下、レーダー確率雨量分布と称する）を補正したうえで、レーダー確率雨量分布の推定を図-17 に示すフローに従って試みた。このフローでは、10年間のPDS（レーダー雨量）によって求めた確率雨量分布を、30年間のAMS（地上雨量）の確率雨量によって補正した。補正量は、地上雨量地点とその直上のレーダー雨量による確率雨量の差であり、これを空間的に内挿して決定した。ここで求めた補正量を用いて、レーダー確率雨量分布を補正した。

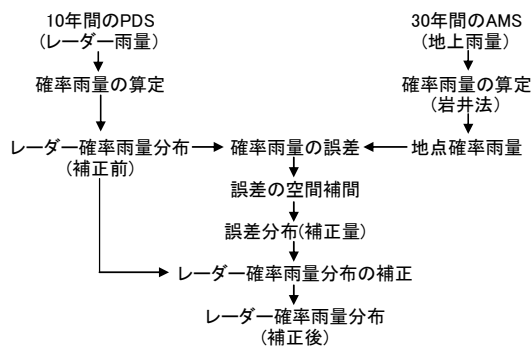


図-17 レーダー雨量による確率雨量分布の推定フロー

以上の手順で推定したレーダー確率雨量分布図を作成した(図-18、図-20)。これを見ると、雨量観測地点の無い範囲であっても確率雨量の極大域が明瞭に現れた。このことから、レーダー雨量の利用は、雨量計の配置されていない地域も確率評価に反映でき、局地的な強雨の評価に有効と考えられた。なお、地上雨量観測点のない場所で、局所的な強雨の発生する傾向のある場所は主として山地にあり、農地の分布する地域での確率等雨量線図は、地上雨量に基づくものと局所的な強雨も捉えているレーダー雨量を用いたものとの間に大きな相違はないことが示された(図-19、図-20)。

6. その他

ラビリンス堰を用いた排水路分流施設（写真-1）に

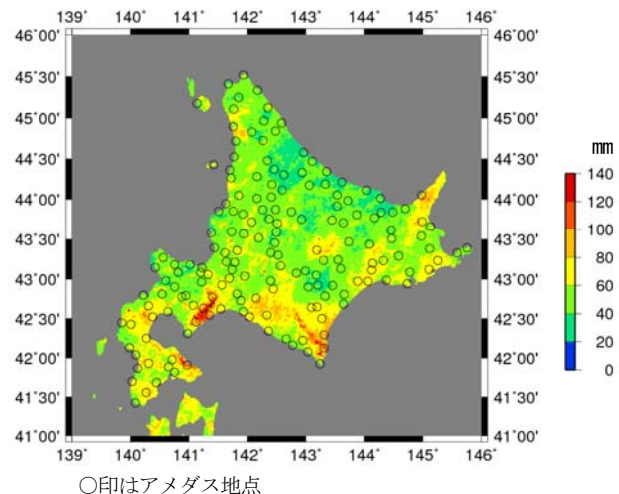


図-18 レーダー雨量を用いた確率雨量分布図
(3時間雨量, 10年確率)

において、平成20年から22年までの3年間にわたり降雨時の分流状況を観測した。写真-1の左側が排水路本線であり、奥から手前側に流下している。流量が増大すると越流部の長いラビリンス堰を越えて左側に分流され、その水は別の排水路に流下する。観測期間中においては少流量ながら越流が数回みられ、このうち流量観測が可能な量の分流が生じたのは1回であった。流量観測結果から計画値に近い分流機能を有していることが検証できた。



写真-1 排水路分流施設

7. まとめ

本課題では、北海道内の大規模畑作地帯における近年の湛水被害の要因を分析するため、代表的な大規模畑作地帯である十勝地域と網走地域での湛水被害の全体的な傾向を調査したうえで、モデル地区を選定して排水機能低下に対する降雨の変化や土地利用・排水施設条件の変化の影響を事例的に分析した。また、両地域での降雨形態の変化傾向を分析した。

最近の10箇年（H8年～H17年）の主要災害における十勝地域および網走地域での冠水・浸水、倒伏による

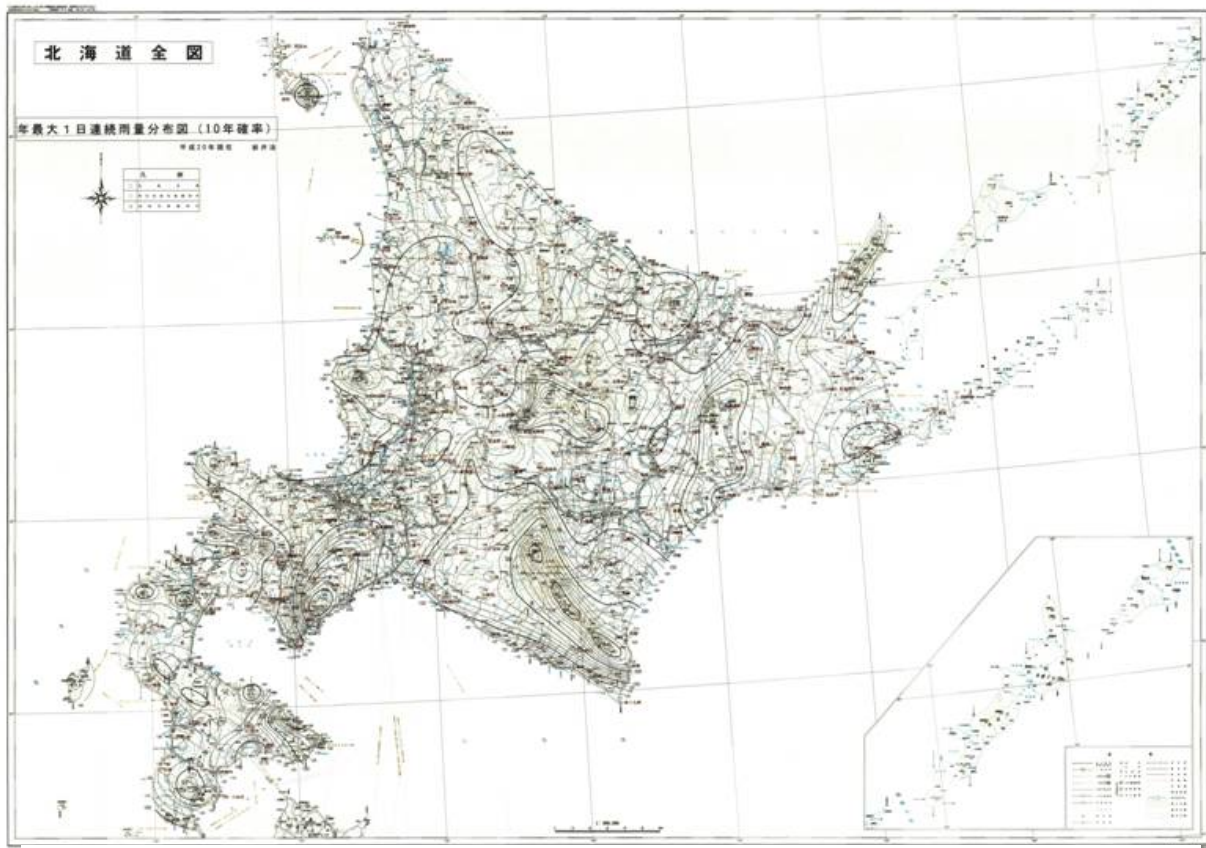


図-19 北海道における確率等雨量線図²⁾ (1日雨量,10年確率)

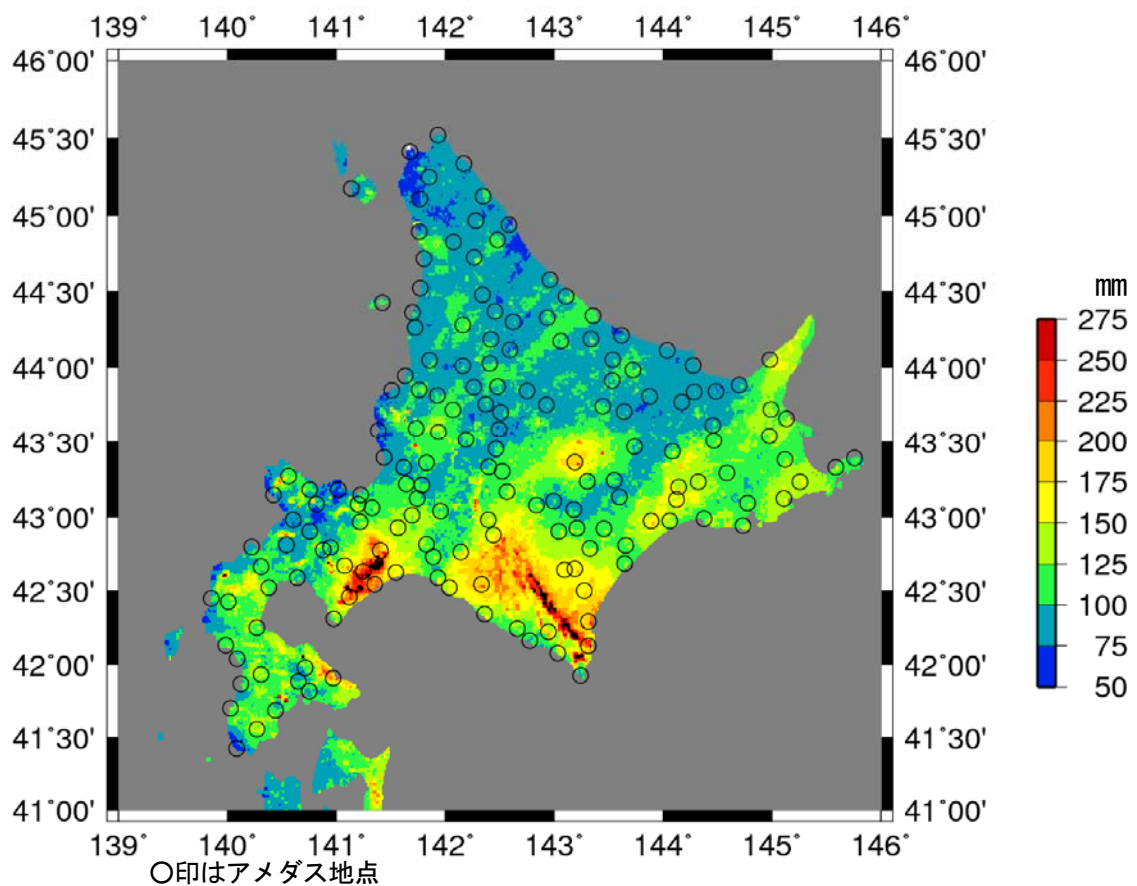


図-20 レーダー雨量を用いた確率等雨量分布図 (1日雨量,10年確率)

農作物被害の面積および被害額では、網走地域よりも十勝地域の方が大きかった。また、市町村間での被害額には大きな差があった。

平成 20・21 年度は、十勝地域で 2 地区のモデル地区を選定し、流出解析によって各種の要因が単位排水量に与える影響を検討した。その結果、単位排水量に与える影響の大きさは降雨量の増加＞土地利用の変化＞降雨波形の変化＞排水系統の整備の順であった。平成 22 年度はさらに 2 地区のモデル地区を追加して、各種の要因が排水路の水位上昇に与える影響を検討したところ、影響度が大きいのは降雨量の増加と粗度係数の増加であった。また、機能診断の現地踏査や評価で注目すべき点として、排水路の機能劣化の兆候が現れると考えられる護岸上部の法面の浸食などがあげられた。

両地域での降雨形態の変化については、気象官署およびアメダス地点における観測開始年から 2007 年までの 5 月～10 月の雨量データの分析により、両地域では近年 100mm/d を超える日雨量の発生頻度が高まっていることが明らかになった。また、1978 年以降のデータから抽出した 102 件の大雨データの分析により、前線や台風による大雨の頻度が増えてきていること、比較的大雨の頻度の高い前線や気圧の谷による大雨では時間雨量のピークが 2 つあるタイプが多く、台風では降雨の後半にピークのある降雨パターンが多いこと等が明らかになった。さらに、レーダー雨量の分析を行い、アメダス地点ではとらえられない強雨が多数あること、それらには降雨パターンが短時間型であるものや、要因が不安定性であるものが多いことなどがわかった。

レーダーアメダス解析雨量から北海道の確率雨量分布図を作成したところ、農地の分布するような平地の区域では、地上雨量に基づく確率等雨量線図との間に大きな相違はないことが示された。

また、排水流量の分流施設の機能解明については、計画値に近い分流機能を有していることを検証した。

参考文献

- 1) 佐藤智・中村和正・高田直幸・前川 涼子：大規模畑作地帯における排水路性能への影響因子、平成 22 年度農業農村工学会大会講演会、pp.540-541 (2010)
- 2) 北海道開発局農業水産部農業調査課：北海道における確率等雨量線図 (2009)
- 3) 農林水産省農村振興局企画部資源課：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「排水」、pp.17～21 (2006)
- 4) 中村和正・佐藤智・横木淳一・越田智喜・武中英好：網走・十勝地域における大雨の発生頻度と成因の変化、寒地土木研究所月報、675、pp.27-34 (2009)
- 5) 佐藤智・中村和正・金田敏和・松岡直基・小松麻美：レーダーアメダス解析雨量による十勝・網走地域の降雨特性、平成 22 年度農業農村工学会大会講演会、pp.230-231 (2010)
- 6) 佐藤智・中村和正・金田敏和・臼谷友秀・齋藤正美：北海道におけるレーダーアメダス解析雨量を考慮した確率雨量の検討、平成 23 年度農業農村工学会大会講演会 (投稿中)