

全体概要と気象・水文の状況

室蘭工業大学
北海道大学
北見工業大学
日本気象協会

中津川 誠
山田 朋人
早川 博
松岡 直基

2016年8月北海道豪雨災害の概要

2016年8月17日から8月23日の1週間に7号, 11号, 9号の3個の台風が続々と北海道に上陸し, 北海道東部を中心に大雨により河川の氾濫や土砂災害が発生した。また, 8月29日からの前線と台風10号の接近による大雨で十勝川水系や石狩川水系・空知川上流で堤防の決壊や河川の氾濫, 日高山脈東側での道路や橋梁の流失などが相次ぎ, 大きな災害となった。

大雨で発生した被害は10月11日現在で, 人的被害が死者4名および行方不明者2名ほか、住家被害が全壊29棟、床上浸水273件および床下浸水989件ほかとなっており、住民避難については最大687個所の避難所が開設され、最大11,176名の避難者があった。ライフラインについては、道路、鉄道、電気および水道に大きな被害が及んだ。国道では道央と道東を結ぶ幹線の274号線の開通は2017年秋以降との見通しが示されているほか、鉄道も至る所で橋梁の流出等で大きな損傷を受け、とくに根室本線の不通により札幌と帯広・釧路を結ぶ特急も長期間の運休を余儀なくされた。なお、この区間は2016年12月に開通した。さらに産業被害については、基幹産業の農業に40,258haにわたる被害が出ているほか、水産業、林業、商業および工業にも被害が及んでいる。

このような人的・物的に甚大な被害発生を受け, 国は今次災害を復旧事業の国の補助率をかさ上げして被災自治体の財政支援を後押しする激甚災害へ指定した。

2016年の大雨による主な被害状況等

【台風第10号, 第13号からの低気圧】

凡例
 黄色：大雨警報
 茶色：大雨警報
 十土砂災害警戒情報
 青色：冠水地域

平成28年10月19日現在



北海道総務部危機対策課：平成28年8月から9月にかけての大雨等災害について，
 第1回災害検証委員会資料2，2016.10.26 より

昭和56年(1981年)以降の主な豪雨災害の被害

災 害 名	昭和56年 8/3～6	昭和56年 8/21～23	平成4年 8/8～10	平成15年 8/9～10	平成28年 8/16～9/11
原 因	前線・台風	前線・台風	台風から変わった 低気圧	前線・台風	台風・低気圧
被災地域	全道	全道	道南・道東	日高・十勝等	全 道
被災市町村数	185市町村	198市町村	58市町村	61市町村	集計中
死 者	8名	2名	0名	10名 (行方不明1名)	4名 (行方不明2名)
床上浸水	6,115棟	2,850棟	108棟	129棟	273棟
床下浸水	20,948棟	13,479棟	357棟	438棟	989棟
農作物被害(田)	41,060ha	14,206ha	2,889ha	1,383ha	40,258ha
農作物被害(畑)	134,920ha	75,186ha	3,314ha	8,431ha	
土木被害	4,777ヶ所	1,604ヶ所	1,063ヶ所	1,139ヶ所	2,269ヶ所
総被害額	2,705億円	904億円	509億円	1,100億円	道・市町村分1,979億円(10/25現在) 国交省公表分824億円(9/14現在)

※ 囲みは表中で最も被害の大きいことを示す。
いずれの災害も激甚災害（本激）の指定を受けている。

計2,803億円

北海道総務部危機対策課：平成28年8月から9月にかけての大雨等災害について、
第1回災害検証委員会資料2，2016.10.26 より

2016年8月16日から大雨による主な被害状況等 (河川関係)





土木学会調査団について

2016年8月北海道豪雨災害調査団

土木学会水工学委員会

調査団員一覧（団長・幹事・団員（五十音順））

団長 清水 康行	北海道大学大学院 工学研究院
幹事 中津川 誠	室蘭工業大学大学院 工学研究科
石田 義明	㈱水工技研 技術部
泉 典洋	北海道大学大学院 工学研究院
今井 素生	日本工営㈱ 札幌支店
川口 貴之	北見工業大学 工学部
川尻 峻三	北見工業大学 工学部
川村 育男	㈱建設技術研究所 北海道河川室
木村 一郎	北海道大学大学院 工学研究院
久加 朋子	北海道大学大学院 工学研究院
田中 岳	北海道大学大学院 工学研究院
西村 聡	北海道大学大学院 工学研究院
早川 博	北見工業大学 工学部
船木 淳悟	国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所
松岡 直基	一般財団法人 日本気象協会 北海道支社
山崎 睦史	㈱ドーコン 河川部
山田 朋人	北海道大学大学院 工学研究院
Adriano Coutinho de Lima	北海道大学大学院 工学研究院
渡邊 康玄	北見工業大学 工学部

調査団報告の構成

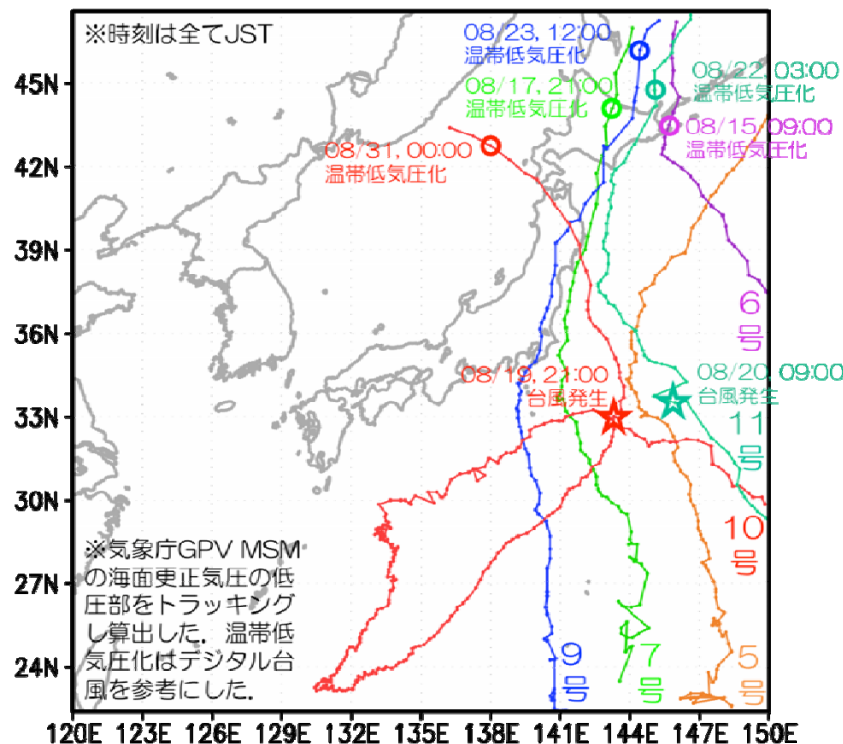
1. 全体概要と気象・水文の状況に関する結果と考察
2. 石狩川水系の状況に関する結果と考察
3. 十勝川水系の状況に関する結果と考察
4. 常呂川水系の状況に関する結果と考察
5. 3大水系（石狩川・十勝川・常呂川）以外の状況に関する結果と考察

今後に向けての提言

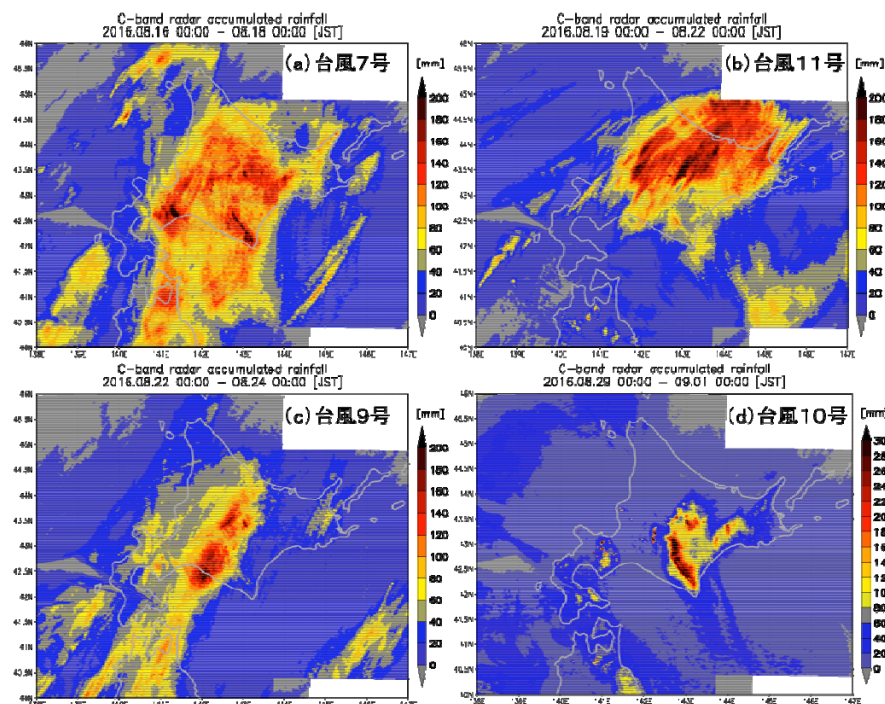
*近日中に「調査報告書」を土木学会HP等で公開する予定です。

2016年8月北海道豪雨の概要と特徴

8月中旬から1週間の間に3個の台風(台風7, 11, 9号)が北海道に上陸し, 下旬には4個目の台風(台風10号)が接近して各地に大雨を降らせ, 激甚な災害をもたらした. 気象庁が1951年に台風の統計を開始以来, 北海道に台風が3個上陸したことは無く, また台風10号は太平洋側から東北地方へ上陸するという初めてのコースをとった.



2016年8月に北海道を上陸もしくは周辺を通過した台風の経路. 気象庁GPV MSMの海面更正気圧の低圧部を1時間おきにトラッキングし算出した. 発生・温帯低気圧化はデジタル台風を参考にした. 図中☆印は台風発生地点, ○印は温帯低気圧化した地点.



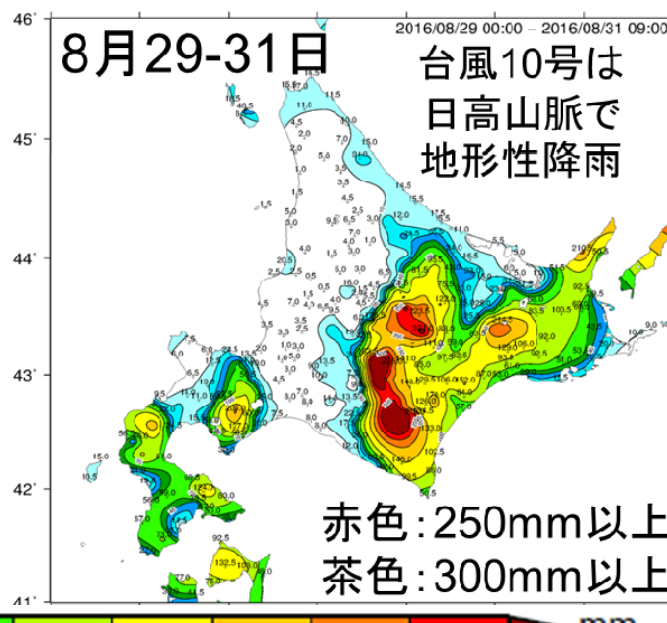
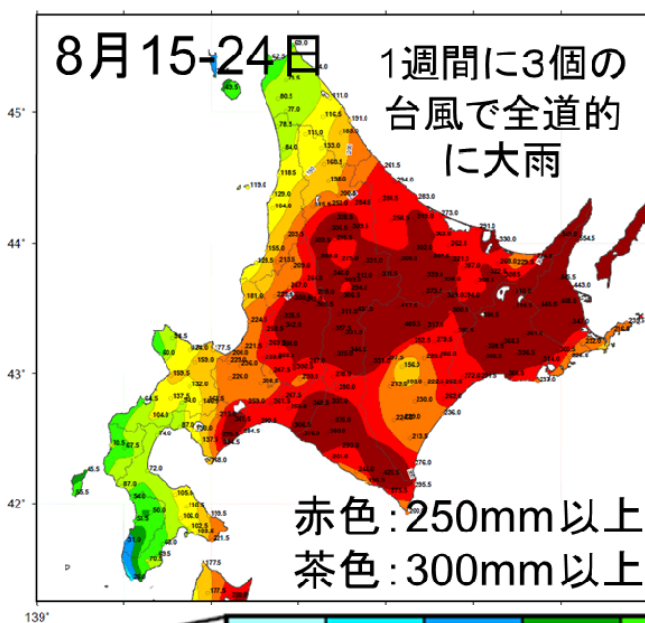
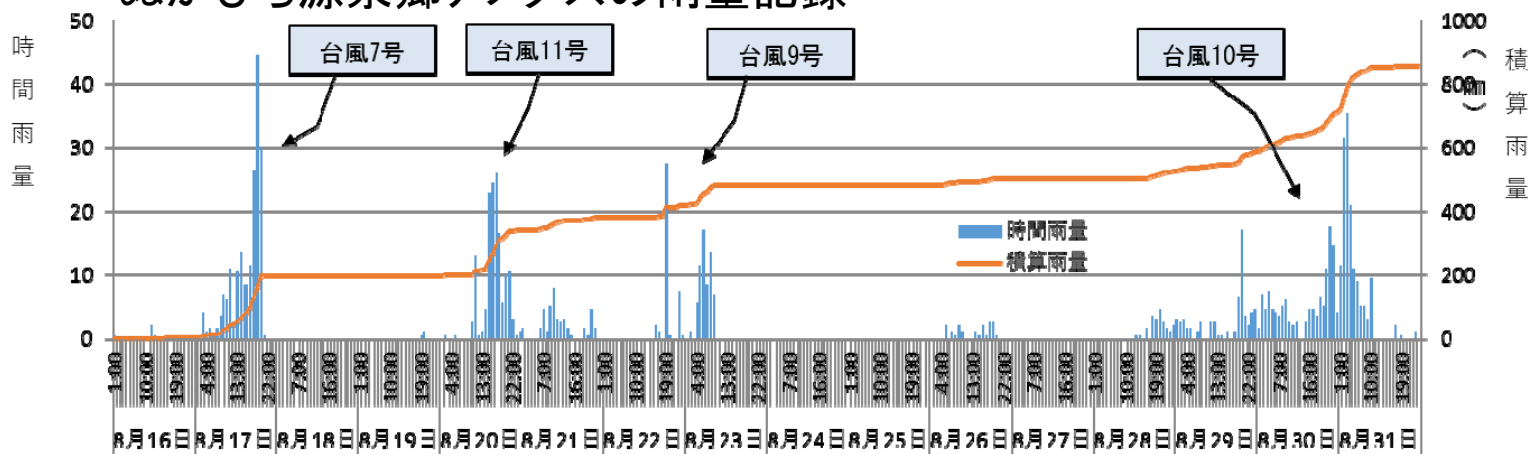
* (d) のカラーバーは範囲が0~300mmとなっている.

2016年8月16日から9月1日までの台風ごとの積算降雨量. Cバンドレーダより算出. (a) 2016年8月16日00時から8月18日00時までの積算降雨量 (b) 2016年8月19日00時から8月22日00時までの積算降雨量 (c) 2016年8月22日00時から8月24日00時までの積算降雨量 (d) 2016年8月29日00時から9月1日00時までの積算降雨量

山田朋人(北海道大学)作成資料より

2016年8月北海道豪雨の概要と特徴

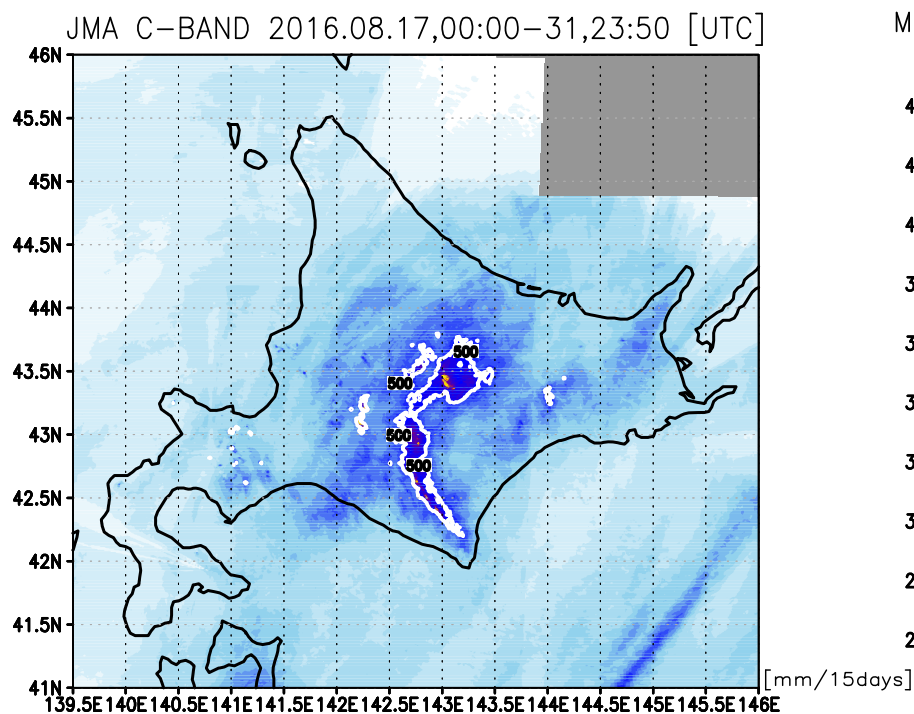
ぬかびら源泉郷アメダスの雨量記録



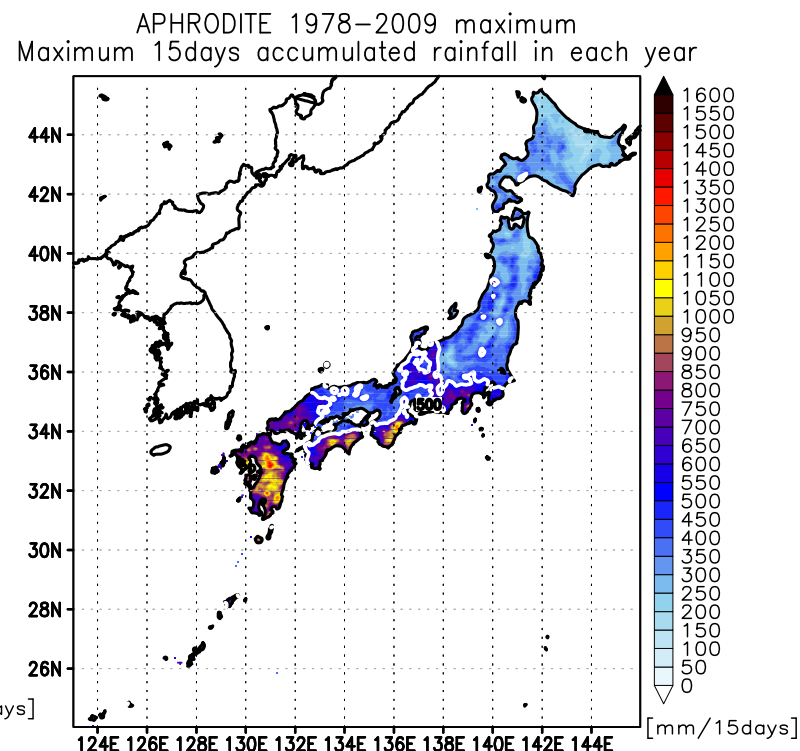
降雨の規模 15日間の積算

一連の4つの台風は15日間で大雨をもたらした。
今回の豪雨は**関東・中部地域と同等規模**の降雨量。

※図中白の実線は500[mm/15days]



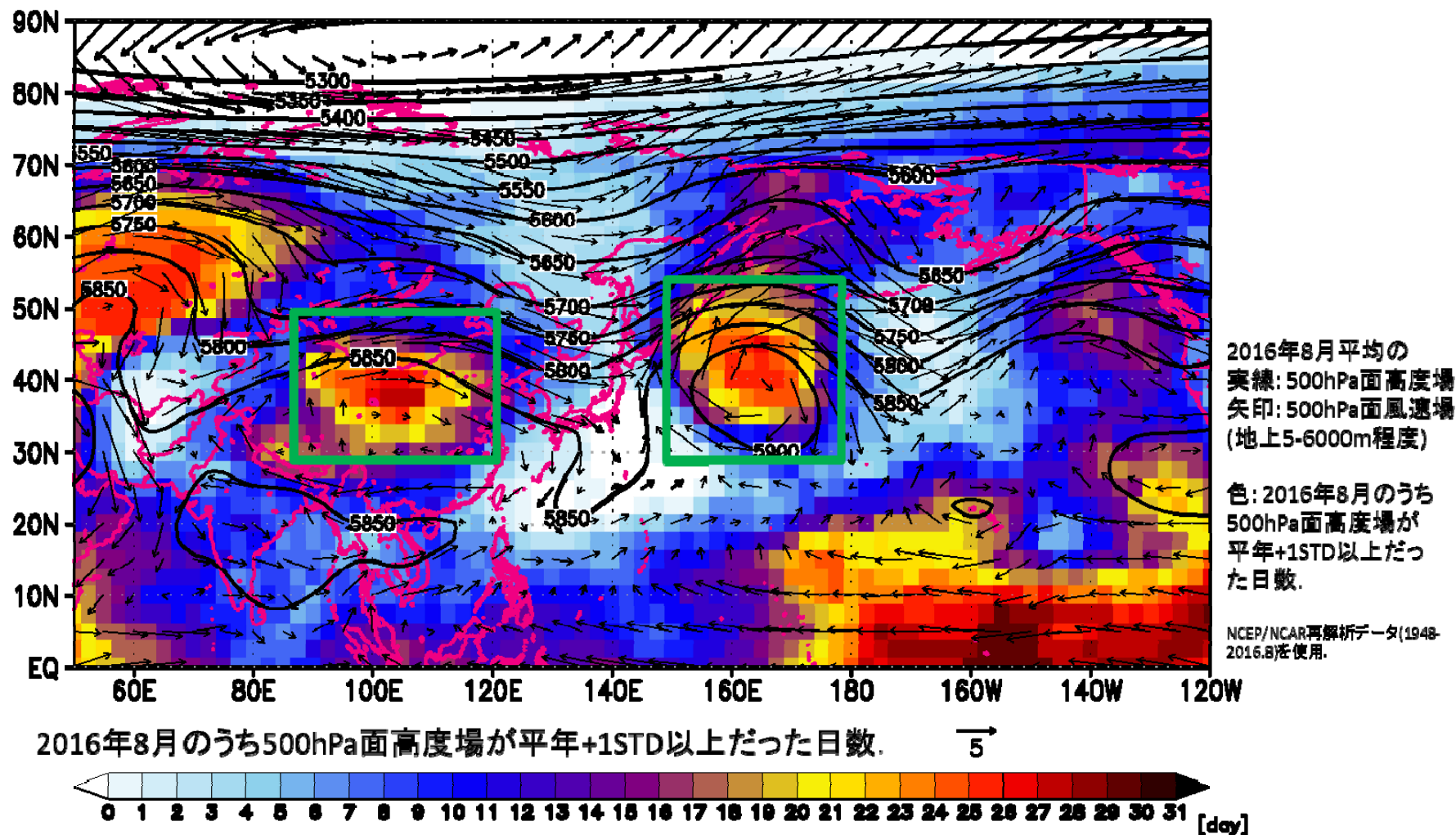
**JMA, C-band 2016年8月17-31
日[UTC]積算雨量**



**AHRODITE (1978-2009)
年最大15日降水量最大値**

2016年8月の気象条件

太平洋高気圧, チベット高気圧が北緯40-50度付近に停滞した. (8月の31日間で25日程度). このため, 台風5, 6, 7, 9, 11号と多くの台風が太平洋を北上するルートを通った.



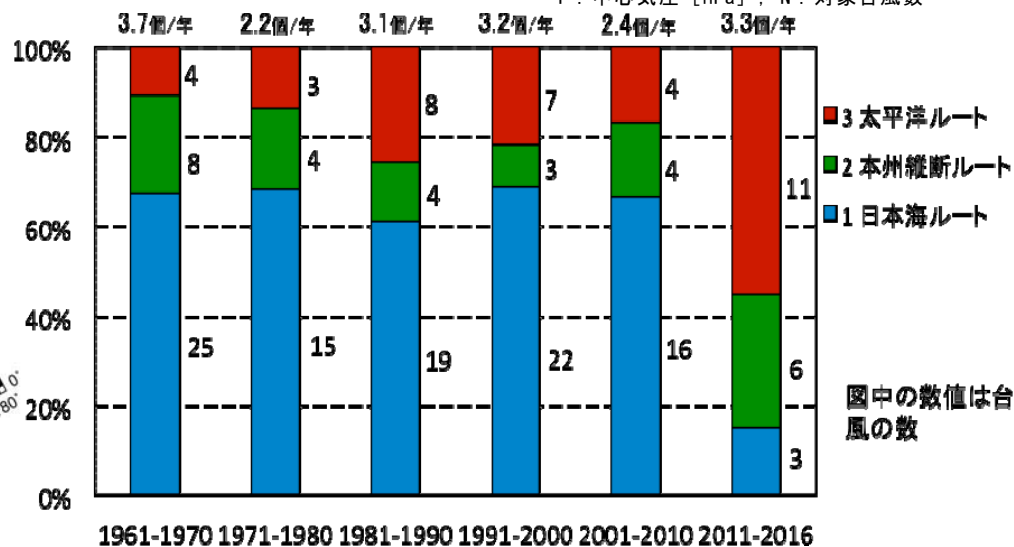
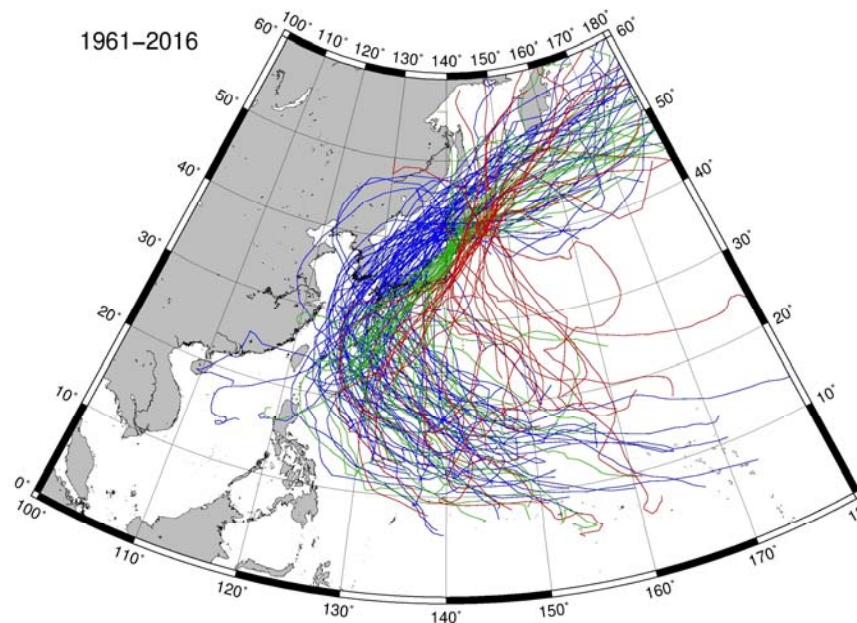
これまでに北海道に上陸・最接近した台風の特徴 (1961～2016)

北緯30度を中心気圧が980hPa以下で通過した北海道に接近した台風の、北緯40度を通過した時刻での中心気圧(hPa)と数(N)

赤色：太平洋ルート
緑色：本州縦断ルート
青色：日本海ルート

平均期間	年数	全ルート		1 日本海ルート		2 本州縦断ルート		3 太平洋ルート	
		P (hPa)	N	P (hPa)	N	P (hPa)	N	P (hPa)	N
1961-2016	56	984.48	116	986.27	67	984.37	24	979.79	25
1961-1970	10	985.74	19	986.50	11	985.36	6	982.72	2
1971-1980	10	987.49	17	988.04	11	987.23	4	985.00	2
1981-1990	10	984.87	23	985.00	13	980.09	3	986.69	7
1991-2000	10	983.12	25	986.05	17	983.92	3	972.67	5
2001-2010	10	985.06	20	986.45	13	981.84	4	983.33	3
2011-2016	6	979.32	12	984.13	2	986.11	4	973.19	6

P: 中心気圧 [hPa], N: 対象台風数



2016年を含め2011～2016は太平洋ルートの台風が多い。同ルートは勢力が衰えず北海道に上陸・最接近しやすいという特徴を有する。* 最接近: 北海道から300kmの範囲

1981年8月 通称56水害

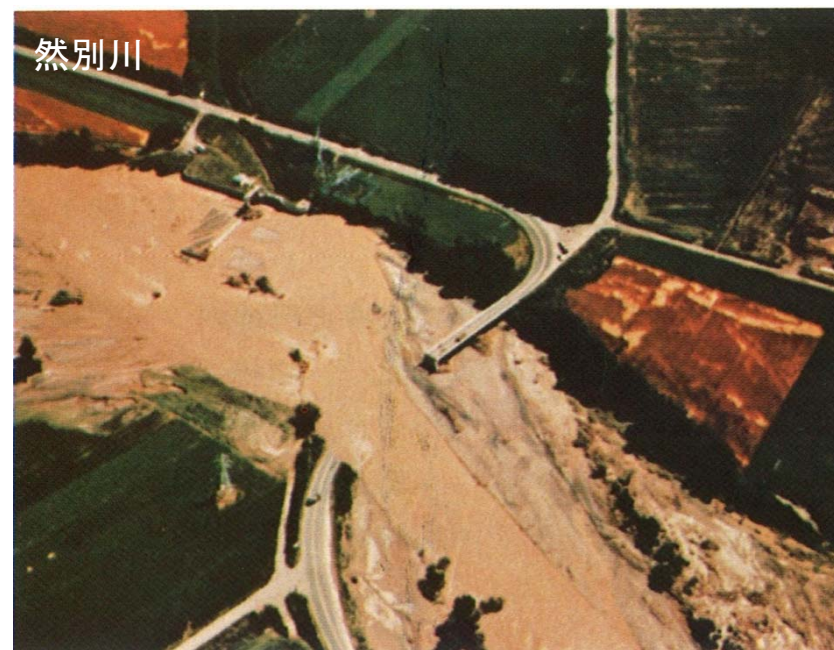


石狩川 江別付近



豊平川

国土交通省 水管理・国土保全局HPより

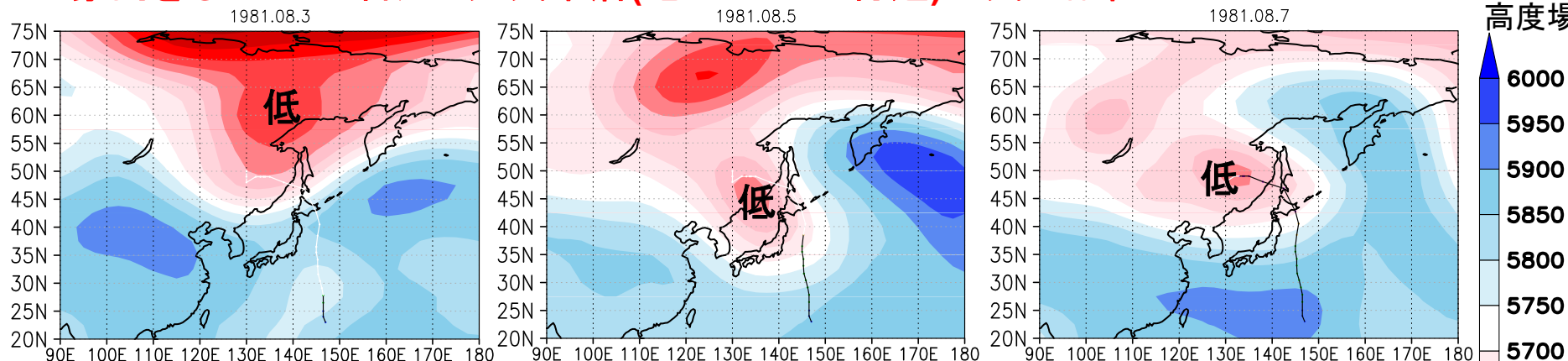


鹿追町HPより

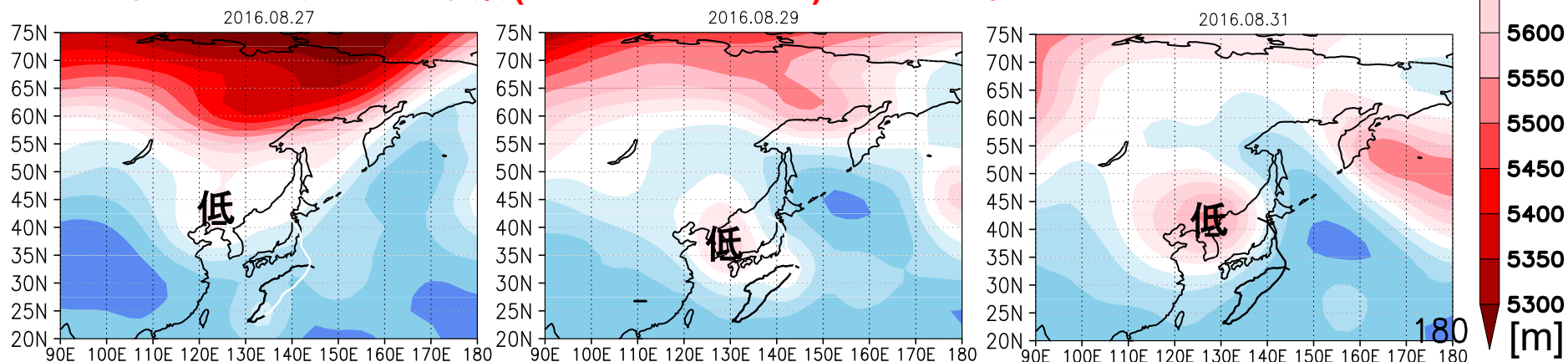
1981年8月(56豪雨)と2016年8月台風10号

56豪雨をもたらした台風と大気中層(地上5000m付近)の気圧配置

色: 500hPa面
高度場



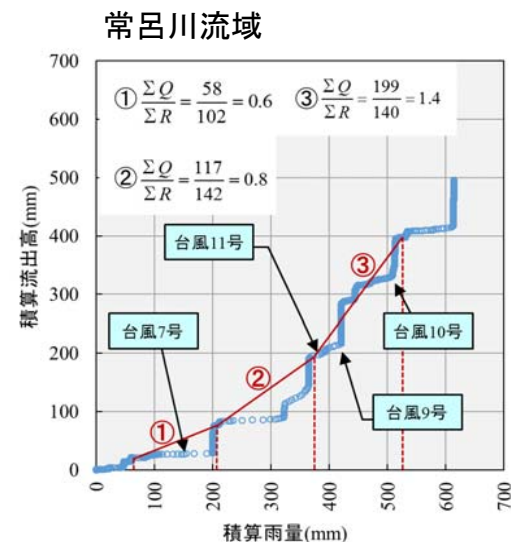
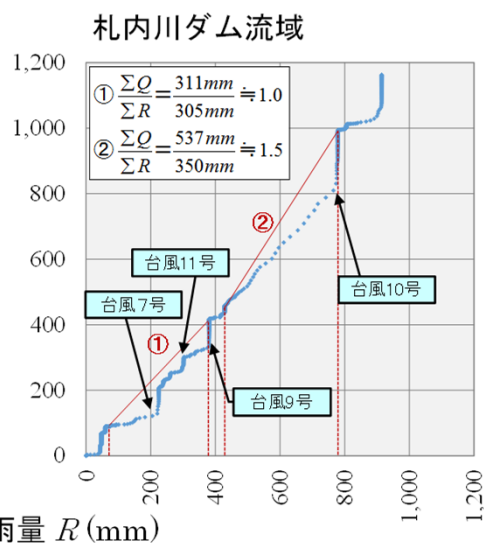
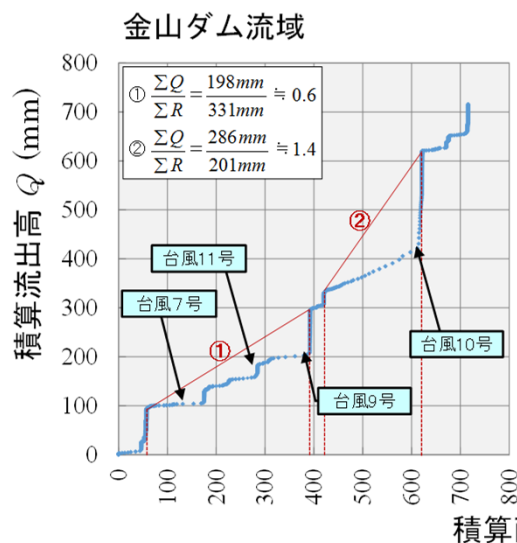
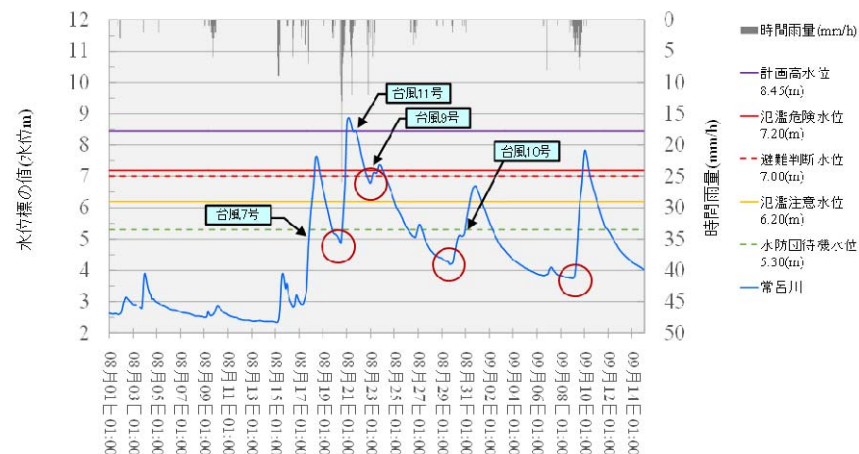
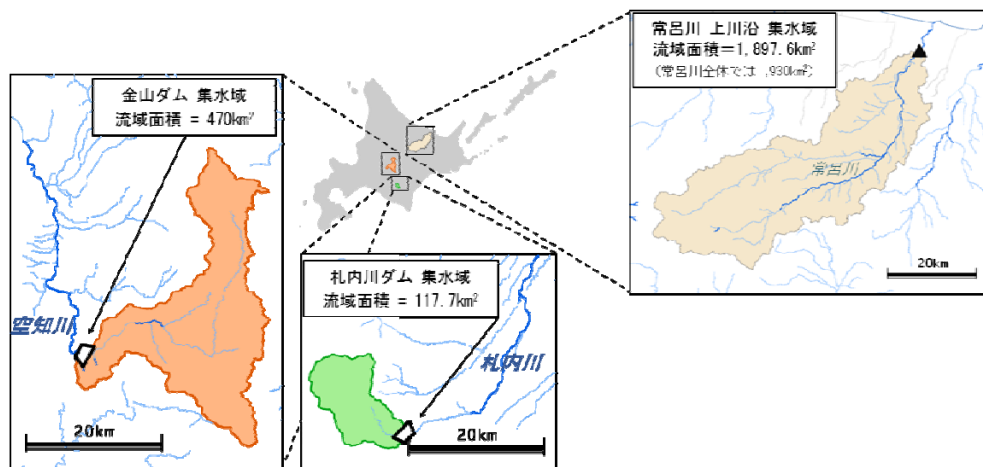
2016年台風10号と大気中層(地上5000m付近)の気圧配置



56豪雨をもたらした台風と2016年台風10号はいずれも、太平洋沿岸を通過後、高緯度から張り出した低気圧性渦(寒冷渦)に吸い寄せられるように進路を西向に変え、北海道に接近した。

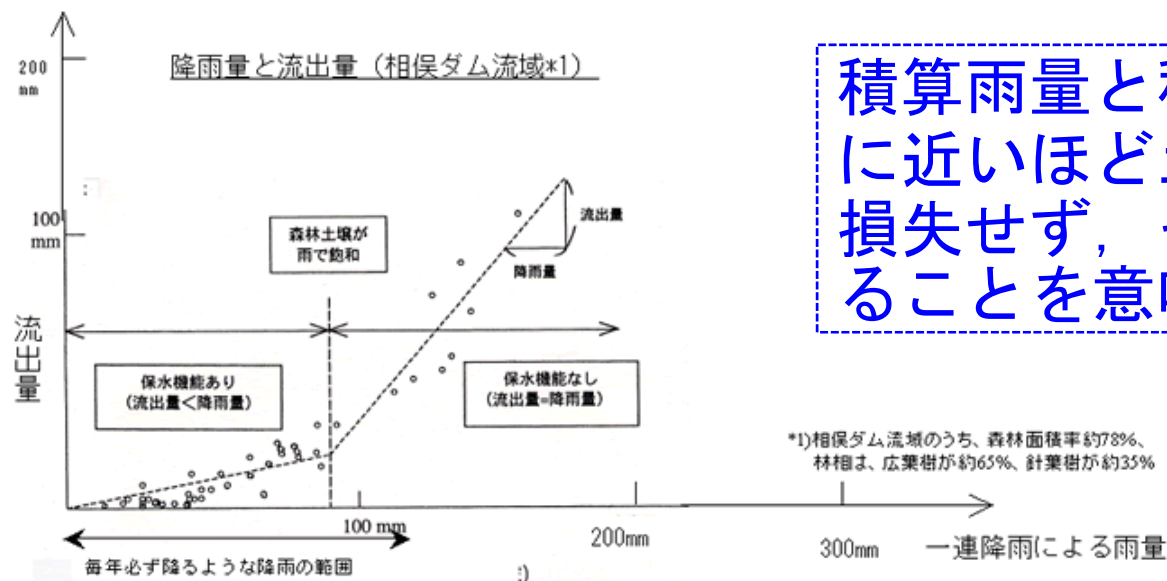
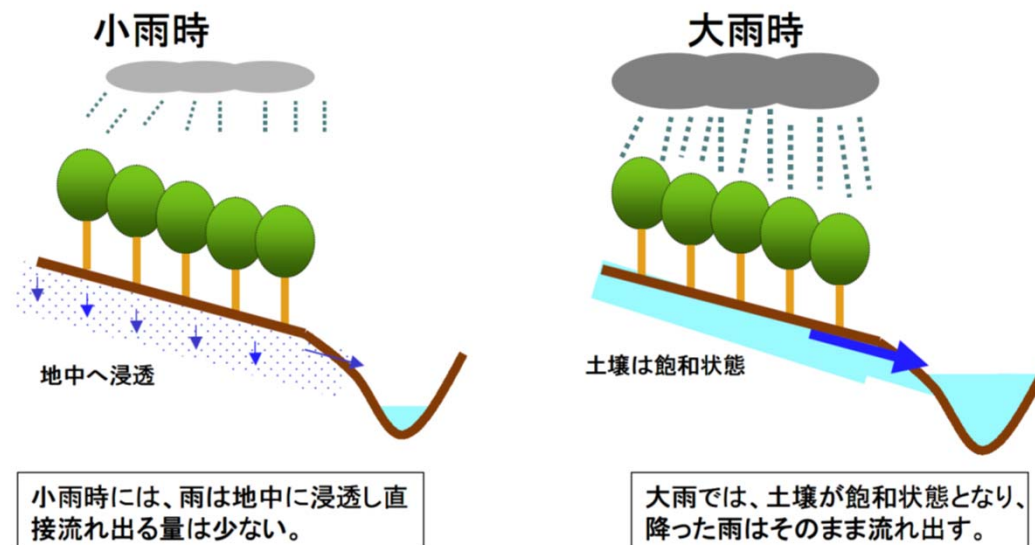
流出の特徴 雨量と流出の関係

常呂川流域 上川沿地点水位 (2016/8/1~2016/9/14)



水位が下がりきる前に次の降雨→長期間、何波にもわたる洪水が発生
繰り返す大雨で降雨量に対する流出量の比(流出率)が増大

流出の特徴 土壌の湿潤状態と流出のイメージ



積算雨量と積算流出高の比が1.0に近いほど土壌が湿って降雨が損失せず、そのまま流出していることを意味する。

国土交通省水管理・国土保全局より

中津川誠(室蘭工業大学)作成資料より

中小河川の流量の推定 パンケシントク川・ペケレベツ川



ペケレベツ川の等流計算流量推算箇所
(北海道提供)

パンケシントク川ピーク流量

水理的（等流計算）手法： $Q = 343 \text{ m}^3/\text{s}$ （北海道提供資料より）

合理式： $Q = 149 \text{ m}^3/\text{s}$ （ f は暫定値, r はレーダ解析雨量より）

貯留関数法（2段法）： $Q = 147 \text{ m}^3/\text{s}$ （パラメータは2016台風10号札内川ダム最適値, r はレーダ解析雨量より）

ペケレベツ川ピーク流量

水理的（等流計算）手法： $Q = 402 \text{ m}^3/\text{s}$ （北海道提供資料より）

合理式： $Q = 244 \text{ m}^3/\text{s}$ （ f は暫定値, r はレーダ解析雨量より）

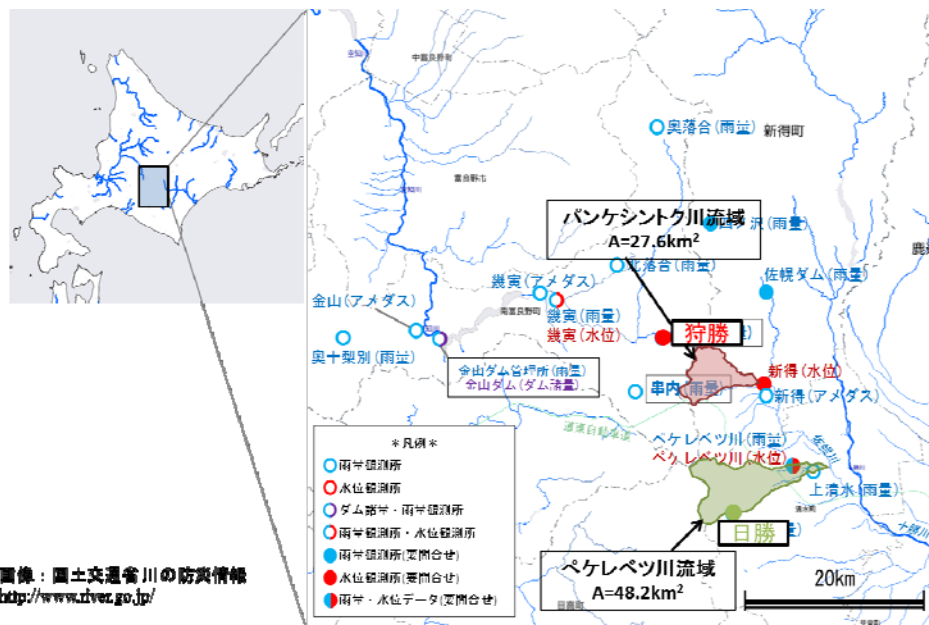
貯留関数法（2段法）： $Q = 250 \text{ m}^3/\text{s}$ （パラメータは2016台風10号札内川ダム最適値, r はレーダ解析雨量より）

貯留関数法, 合理式法とも北海道による水理的（等流計算）手法による流量推算値よりかなり過少推定している！ → **なぜか？**

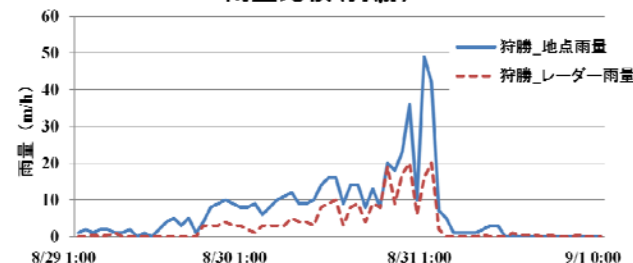
中小河川の流量の推定(再検討)

パンケシントク川・ペケレベツ川

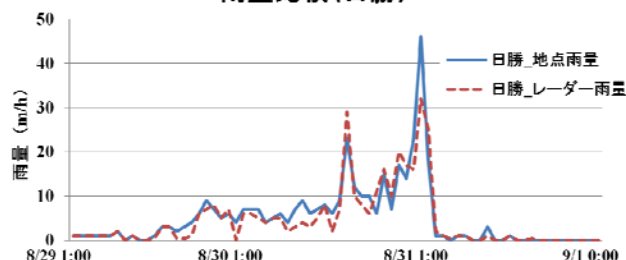
レーダ雨量が過小評価の可能性



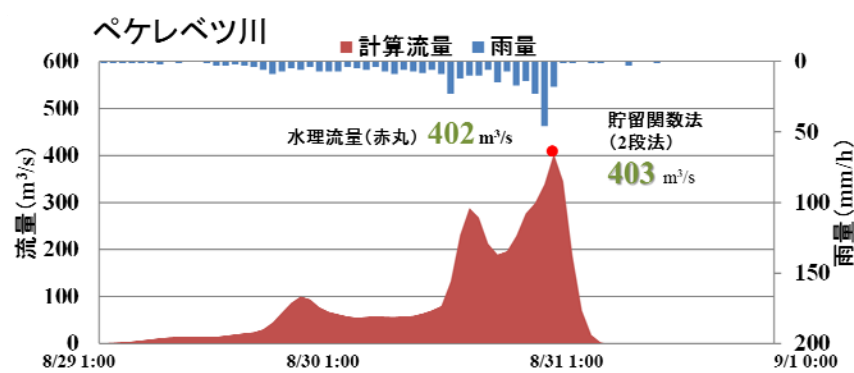
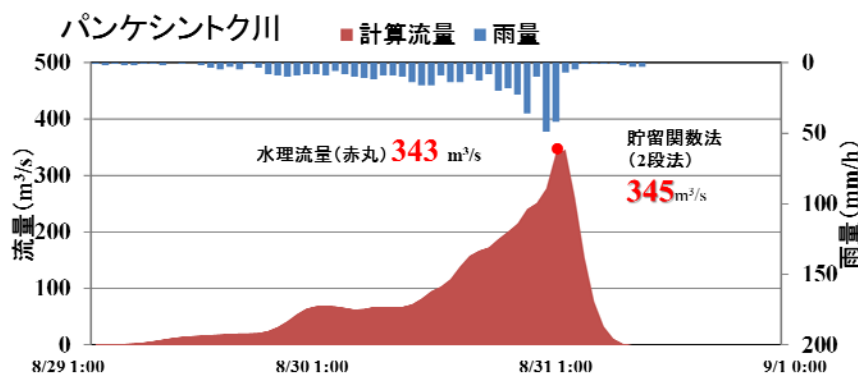
雨量比較(狩勝)



雨量比較(日勝)



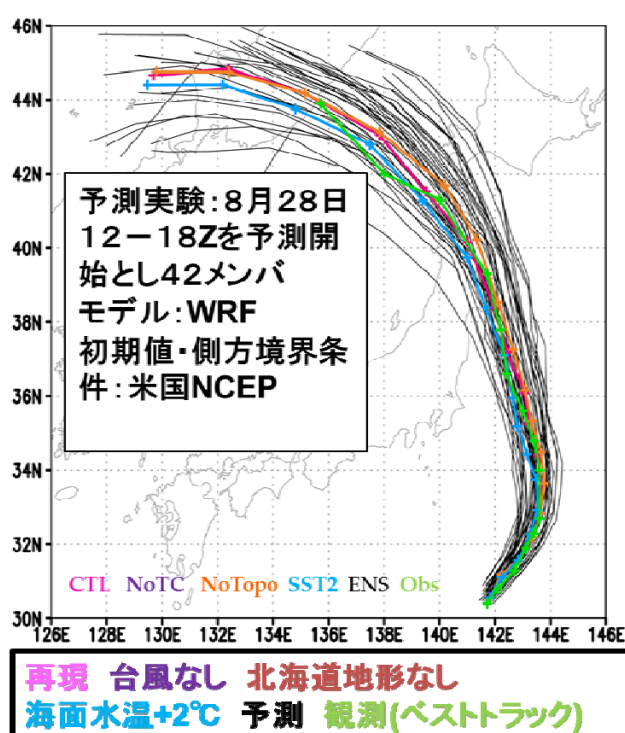
雨量:レーダ雨量を地上雨量で補正 パラメータ:ピーク値に関係する定数(C_{11})を見直し



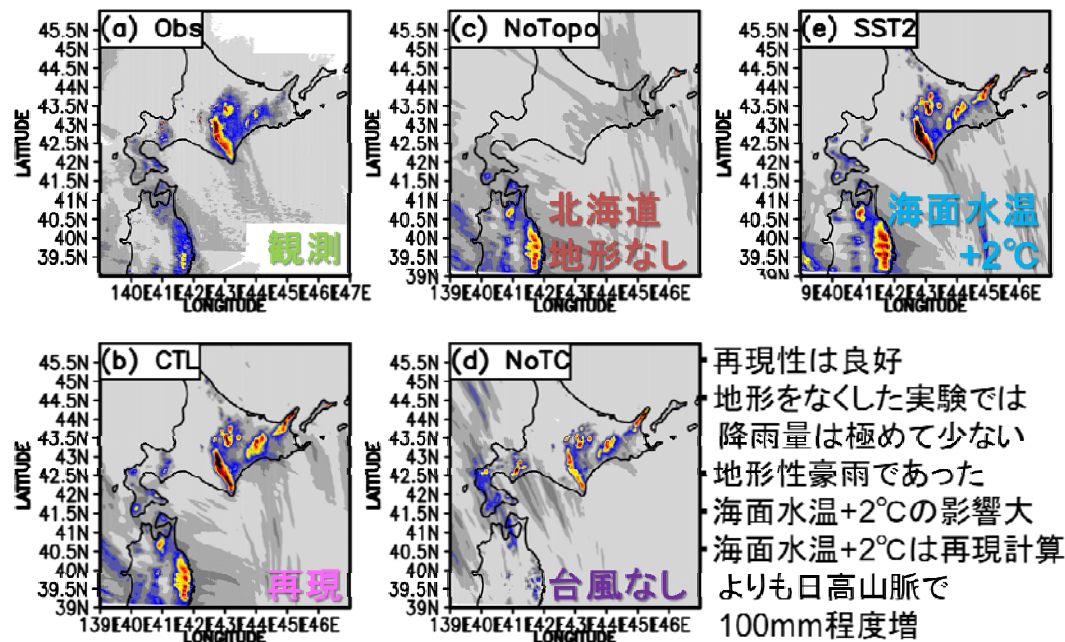
雨量(とくに山岳部)のチェックと土壌湿潤状態を勘案したパラメータ設定が必要.

台風にもなう降雨の再現と予測

気象予測情報がローカルな河川流量予測に使えるか？



8月29日00UTCから31日00UTCまでの積算雨量(mm)



- ・ 北海道に豪雨をもたらした2日前からの気象予測・再現計算を実施
- ・ 予測による降雨分布は観測と概ね良好
- ・ 地形なしの計算では豪雨は発生せず → 今回の豪雨が地形性の影響を強く受けていた
- ・ 台風なし(台風の渦度)計算でも豪雨地域で顕著な降雨 → アウターバンド・寒冷渦の重要性
- ・ 海面水温2℃上昇計算では日高山脈で再現計算よりも100mm程度降雨量増加

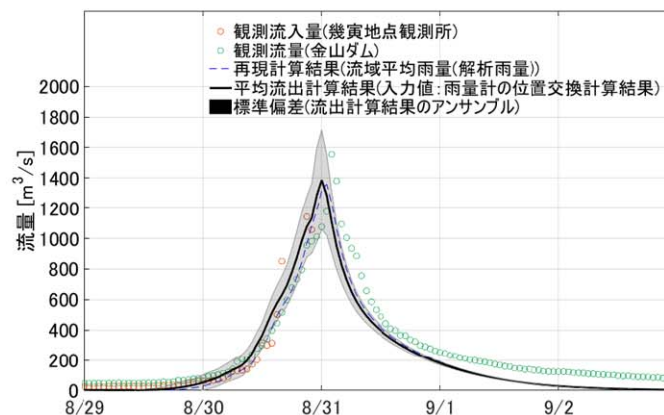
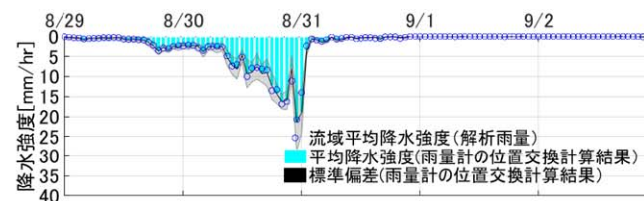
流量の再現と予測 空知川

降雨の時間的・空間的不確実性に伴う流量の不確実性

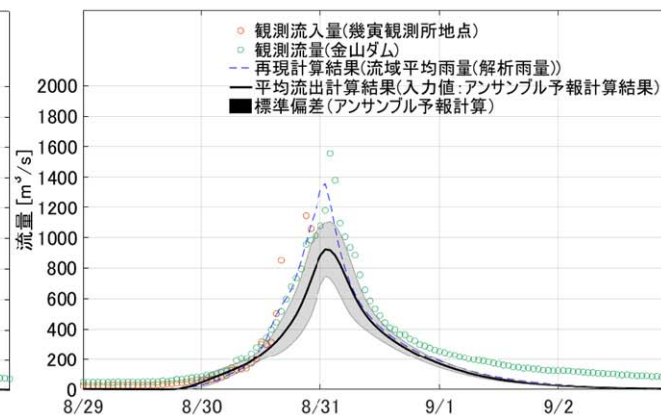
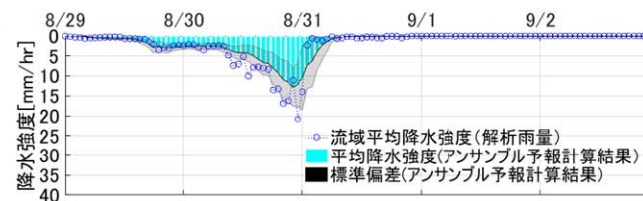
- 2日前からの気象予測結果と降雨観測の不確実性をそれぞれを考慮した流量の不確実性を推定した。
- 雨量計の位置に支配されるピーク流量の不確実性は2日前の気象予測結果が有する不確実性と同程度(観測であってもこの程度把握できていない)
→ 予測結果の積極的利用が重要



集中型の流出モデル
流出パラメタは金山ダム
湖への流入量で同定



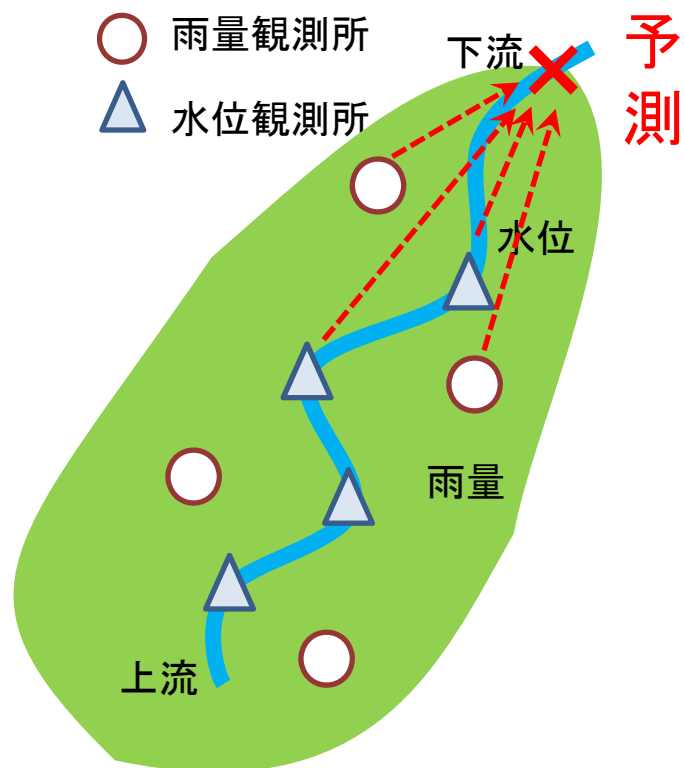
入力値: 雨量計の位置の入れ替え計算結果



入力値: 領域気候モデルの再現・予測結果

新たな洪水予測 統計モデルの進化

機械学習手法による水位予測



対象地点と相関のある地点や
予測リードタイムを見つけ出す

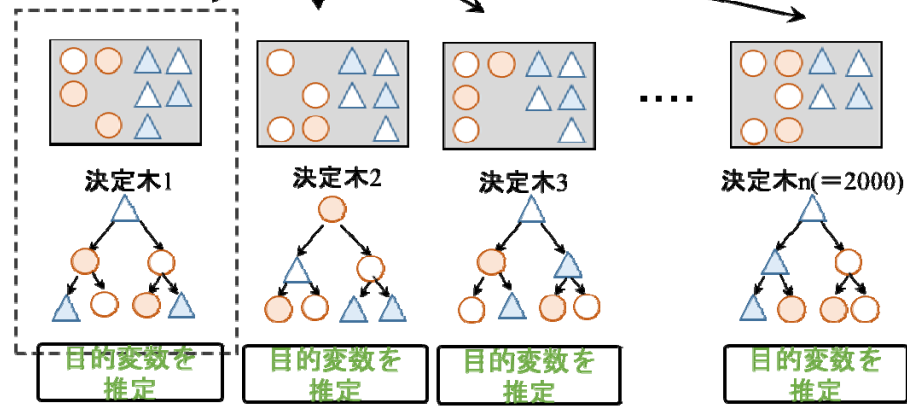
複雑
機械学習, 人工知能

全説明変数(62次元)



$i (=20)$ 個ずつ
ランダムに選択

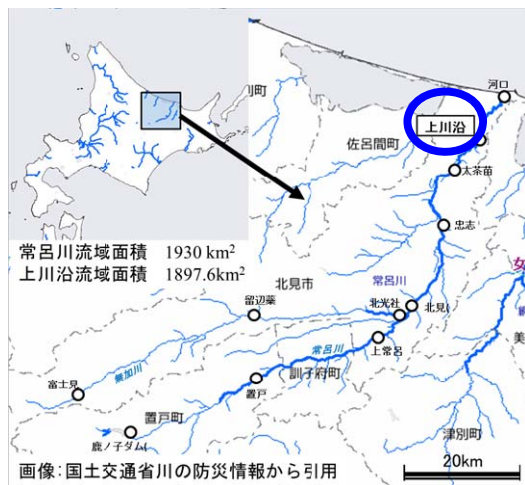
2000パターンの
決定木を作成



各決定木の結果を平均→最終予測水位

機械学習手法による水位予測

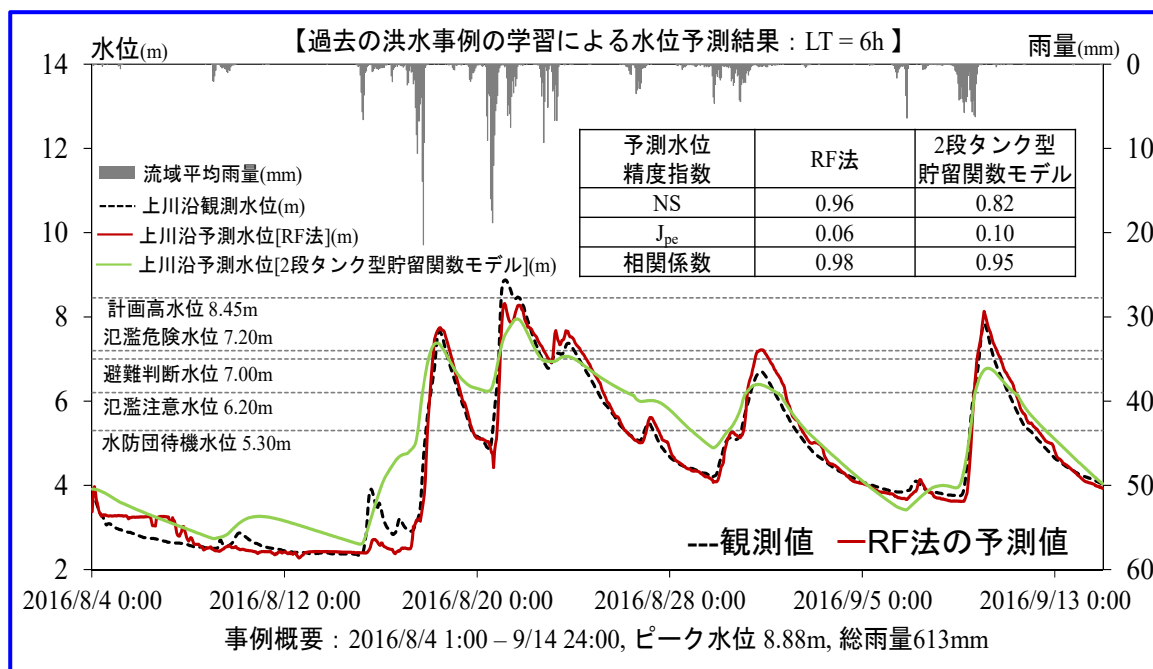
予測個所と説明変数(62)



観測項目	地点・流域	データ概要	避難に必要な時間 (LT)
水位 (m)	上川沿	地点観測水位 (テレメータ水位)	6~10時間前の水位
	太茶苗		
	忠志		
	北見		
時間雨量 (mm)	上川沿	地点観測雨量 (テレメータ雨量)	6~10時間前の雨量
	北見		
	置戸		
	常呂川流域		
SWI _s * (mm)	常呂川流域	流域平均雨量 (レーダ解析雨量) を入力した3段タンクモデルの1段目貯留高S ₁	6~12, 24, 36, 48, 60, 72時間前のSWI _s

※表層土壌雨量指数(Soil Water Index Surface)

ランダムフォレスト(RF)法による水位予測結果 (常呂川 上川沿地点 LT=6h)



上流域の水文データを用い、繰り返す洪水事例についても高い予測精度
進歩が著しい情報工学分野の知見が活用できる可能性を見出した！？

*岡崎亮太, 中津川誠, 小林洋介, 谷口陽子, 機械学習手法に基づく2016年8月の常呂川連続洪水を対象とした水位予測の研究, 平成28年度土木学会北海道支部論文報告集, 73, B-19, 2017. より

まとめ 気象・水文

- 2016年8月に立て続けに北海道を直撃した3個の台風による雨は“前線と台風”によるものであった。さらに、4個目として太平洋側から接近した台風10号は“地形性降雨”が発達したこれまでにないパターンとなった。
- **太平洋側から接近する台風**は勢力が衰えづらく、近年接近頻度が増加する傾向にあることが示唆された。
- 水位が下がりきる前に何波にもわたり降った大雨で**土壌の湿潤状態**が飽和に近づき、降雨に対し流出が増加しやすい条件となっていたことがわかった。
- 今後の**気候変動で頻発する大雨や洪水への対策**を考える際、河川流出量を推定・予測するために必要な局地的な雨量の設定や不確実性、土壌の湿潤状態を考慮したパラメータ設定といった点で留意すべき点を示した。
- 気象モデルを用いた**降雨予測**手法で台風に伴う洪水リスクを2日前程度から適切に予測できること、機械学習手法を用いて高精度な**水位予測**が数時間前から可能であることを示し、今後の**洪水への適応策**へ実装できる有力な手法が提示された。