2019年度　WNI気象文化創造センター「気象文化大賞」

パナマ運河の水文リアルタイムモニタリングシステムの構築に向けたガトゥン湖流域における3次元雨量計とインマルサット衛星通信を用いた雨量観測基盤技術の開発　Ⅱ

成果報告

主たる共同研究・活動者

松田　益義（株）MTS雪氷研究所（代表）
臼井　五郎　（有）SKY-FIX COM JAPAN
清水　孝彰　（株）MTS雪氷研究所
Juan Cardona　Hi-Tek Marine S.A.(Panama市）

経緯と目的

●パナマ運河は、開通以来１世紀以上にわたって膨大な数の船舶が運航し、東西両洋を結ぶ全地球的な海運物流インフラとして大きな役割を担ってきた。

●近年、エルニーニョ現象による少雨や熱帯雨林の乱伐にともなう森林の保水能力の低下に起因して、パナマ運河をつなぐガトゥン湖の水位が不安定化し、運河を船舶が通過するための閘門の開閉による水位の制御や飲料水の供給が困難になりつつある。

●パナマ運河の機能を将来にわたって安定的に維持していく上で、運航管理や閘門開閉スケジューリングの最適化を可能とするスマートな運用制御システムの構築は、問題解決の最も有望なオプションと考えられる。

●ガトゥン湖の湖表面積は431km2（我が国の琵琶湖670 km2 の2/3 程の広さ）である。流域面積中に占める湖表面積の割合は20%に及び、降雨後の湖面への雨水流入が短時間であり、降雨の湖面水位変動への感応が鋭敏であることを示す。

●降雨に敏感な湖面の水位変動を正確に予測するには、精密かつ高密度の雨量観測とその迅速なデータ処理が不可欠である。3 次元雨量計は、流域雨量の正確な把握に不可欠かつ従来の転倒ます雨量計では不可能な、山腹斜面に対する（3次元的な）雨滴衝突量の計測機能を有し、インマルサット衛星通信を通じたリアルタイムの雨量観測データ処理が可能であり、パナマ運河では特に有効である。

●昨年度、運河に隣接するパナマ国際海事大学構内に上記システムを設置し、試験観測の成果を受け本年度研究は、3 次元雨量計データの精度検証、観測-通信-処理システムの安定性確認を行い、パナマ運河における上記システムの有効性実証を目的とした。 しかし、この計画は突然のコロナ・パンデミックにより一時中断を余儀なくされた。

パナマ運河の水不足の状況を伝える記事

新聞記事につき非掲載とさせていただきます。

現地調査の概要

=Panama 出張報告書（201909）=

2019年9月23日
臼井五郎、Sky-Fix Com

出張月日：2019年9月11日（水）～ 9月21日（土）

出張場所：Panama国 Panama市

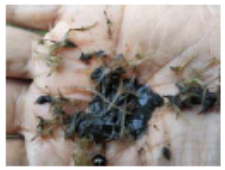
出張者　：臼井五郎(Sky-Fix Com)，島村誠(国立防災科学技術研究所)、山下直樹(日本工営)

目的　　：国際海事大学(UMIP) に1年前に設置した3次元雨量計が送信しなくなった。これの修理および対策、転倒ます雨量計を比較用に設置する。JICA 支援プログラム応募の為の現地調査および運河庁など訪問意見交換をする。山下さんの旅費はこちら持ち。Hi-Tek Marine の車、鈴木さんの Assist で大いに助けられた。

結論　　：3次元雨量計は DIRT で動作不良、調査・対策の為持ち帰り。転倒ます雨量計を設置完了動作良好。JICA, 日本大使館、運河庁、環境省、ETESA など Meeting. POSITIVE な感触を得た。これを参考に山下さんが JICA 企画書を作成する。

残務　　：1）3次元雨量計 DIRT 対策
2) JICA 提案書作成
3) 運河庁 GOLDEN HILL に3次元雨量計設置
4) 環境省、ETESA に3次元雨量計提案

問題点　　：1) 2019/7/26 から3次元雨量計のデーター送信がストップした。当初停電によるロガーと IDP の立ち上がり不一致によるのが原因と考え、今回強制リセット追加配線および ON DELALY TIMER BOX（外付け）を追加した。送信不能は停電の為でなく、 DIRT によるロガー基板の不具合によると思われる。手持ちで日本に持ち帰ったので原因の究明および対策が必要である。



作業　　1) 転倒ます雨量計を設置した。3次元雨量計とは独立。但し ON-DELAY RELAY BOX を通して AC120V 入力となる。正常動作確認。IDP-680 Bottom ISN= 01347236SKY4771

関係者　1) UMIP Ayu Prado 教授　3次元雨量計設置大学担当者
2) 鈴木さん　元 IHI 技師　転倒ます雨量計を設置協力してくれた。
3) 仲江川先生　IAHR 国際会議参加の為来パ　パナマの気象観測に関して意見交換
4) 山下直樹　コンサルタント日本工営　日本より企画書事前調査で日本より同行
5) 高畠　JICA Panama　ACP, 環境庁、Meeting 設定および同席
6) 石丸 JICA 代表
7) Hi-Tek Marine Juan Cardona, Ernan ドライバーどして同行、 Lorge Lopez Jr.
8) 吉本　パナマサイド協力者　情報通
9) Jose Fabrega -Panama 工科大学教授ドイツの気象観測器もパナマの気候でトラブル

現地調査の工程

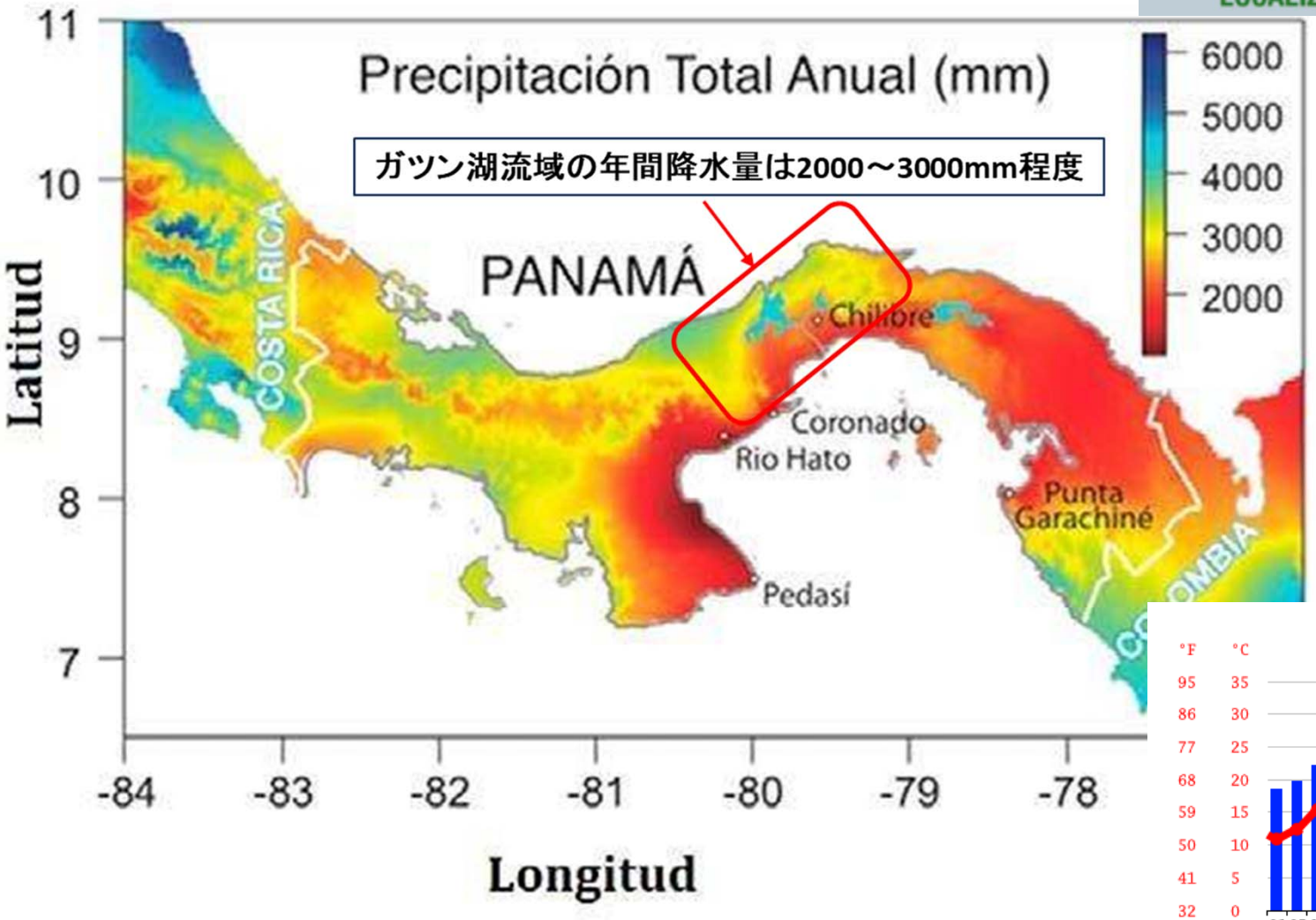
日付		スケジュール			交通機関	備考
		臼井	島村	山下		
9月11日	水	1425 成田　→　1320 メキシコC				
		1535 メキシコC　→　1919 パナマ				
9月12日	木	1000 JICAパナマ事務所				
		1400 日本大使館				DOWA LINE 井上専務
9月13日	金	1000 パナマ国際海事大学				仲江川先生
9月14日	土		1425 成田　→　1320 メキシコC			
			1535 メキシコC　→　1919 パナマ			
9月15日	日	0900 現場視察　三次元雨量計の設置を予定する現場				
		現場視察				
9月16日	月	1000 パナマ運河庁				10:00 JICA 高畠様
		1400 パナマ工科大学				14:00 José R. Fábrega D., Ph.D. UTP
						16:30 大使館　田中様
9月17日	火	1000 ETESA: 気象関連データの入手				09:00 Jose Victoria 環境庁+ETESA
		1400 環境省：　インディオ川を含む水資源開発検討の進捗などの聞き取り				13:00 運河庁　Johnny Cueva, 田中様
9月18日	水	1000 JICAパナマ事務所				
		1400 NKLAC	1851 パナマ　→　2300 メキシコC	1400 NKLAC		鈴木さん
9月19日	木		0140 メキシコC　→　0620 成田(+1)			
		1500 パナマ　→　1900 メキシコC		1500 パナマ　→　1900 メキシコC		
9月20日	金	0140 メキシコC　→　0620 成田(+1)	成田帰着	0140 メキシコC　→　0620 成田(+1)		
9月21日	土	成田帰着		成田帰着		

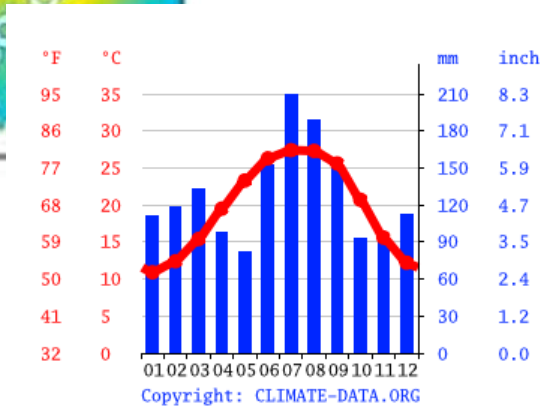
パナマの水環境の把握　パナマ運河流域の気象・水文観測ネットワーク

Updated 2019/6/6

記号	観測機器名（スペイン語）	観測機器名（日本語）
	METEROLOGICAS PRINCIPAL (TIPO A)	主たる気象観測地点 雨量(量、継続時間、強度)気温、湿度、気圧、風向風速、太陽強度、蒸気
	MAREORAFICAS	海潮測定地点 海水位　デジタル及びグラフィック表示
	FLUVIOGRAFICAS	河川水位測定地点 河川の水位を連続で観測し流量をデジタル及びグラフィック表示
	TEMPERATURA DEL MAR	海水温測定地点
	PLUVIOGRAFICAS	雨量観測地点
	LIMNIGRAFICAS	湖の水位観測地点 デジタルおよびグラフィック表示
	SEGUNDARIA (TIPY B)	準主要観測点 継続的に湖の水位を計測デジタルおよびグラフィック表示

パナマの水環境の把握　年間降水量分布





流域の降水環境の把握　降水量の時刻特性/季節特性

RESEARCH ARTICLE

Seasonal changes of the diurnal variation of precipitation in the upper Río Chagres basin, Panamá

Tosiyuki Nakaegawa[1]*, Reinhardt Pinzon[2,3], Jose Fabrega[2,3], Johnny A. Cuevas[4], Hector A. De Lima[4], Eric Cordoba[4], Keisuke Nakayama[5], Josue Ivan Batista Lao[6], Alcely Lau Melo[7], Diego Arturo Gonzalez[7], Shoji Kusunoki[8]

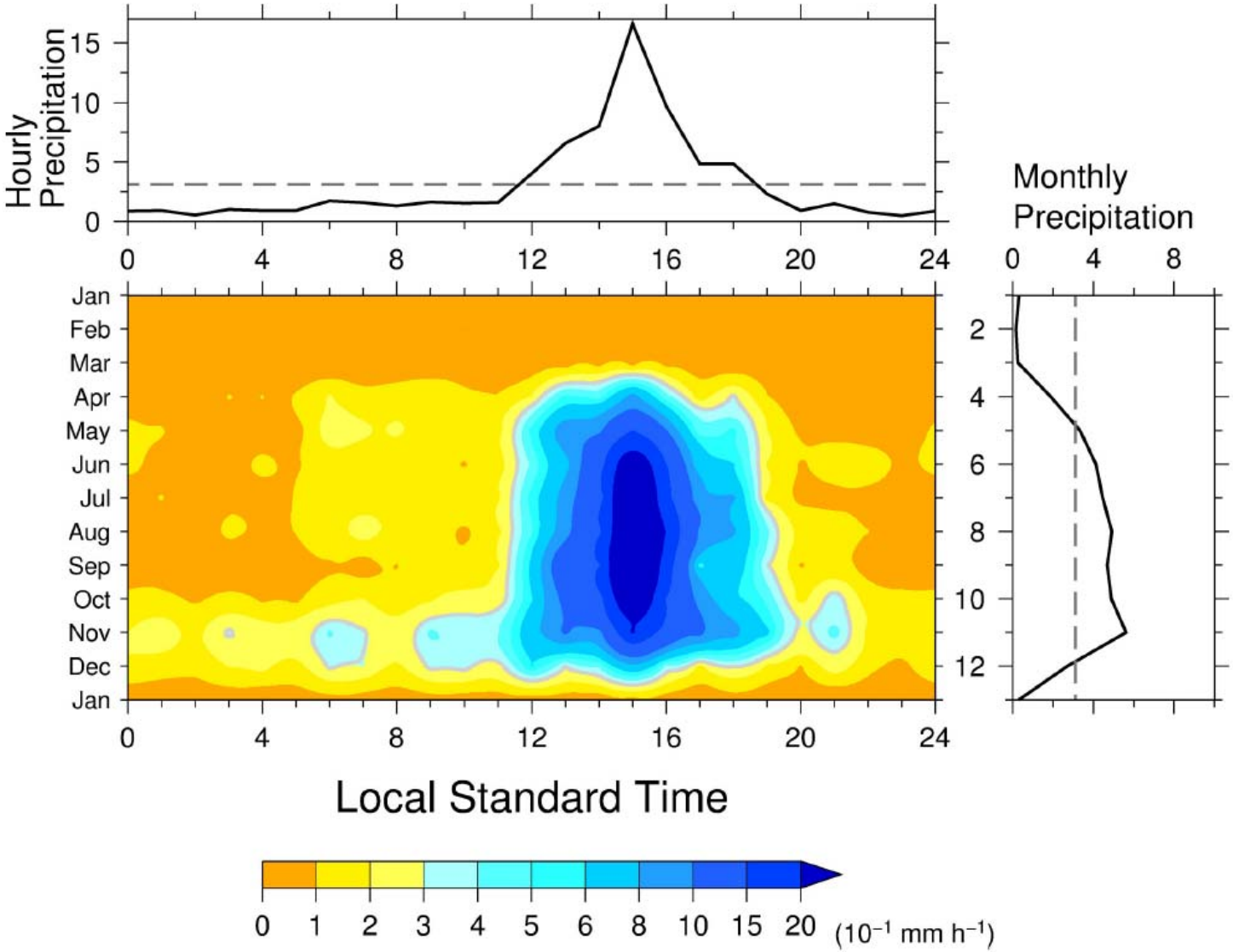


Fig 2. (center) The diurnal variation of precipitation during the year at Chico station. (right) Monthly mean precipitation. (top) Annual mean diurnal variation of hourly precipitation. The gray contours in (center) denote annual mean precipitation. The dashed lines indicate the annual mean hourly (top) and monthly (right) precipitation.

流域の風環境の把握　風向/風速の時間/季節特性

RESEARCH ARTICLE

Seasonal changes of the diurnal variation of precipitation in the upper Río Chagres basin, Panamá

Tosiyuki Nakaegawa[1]*, Reinhardt Pinzon[2,3], Jose Fabrega[2,3], Johnny A. Cuevas[4], Hector A. De Lima[4], Eric Cordoba[4], Keisuke Nakayama[5], Josue Ivan Batista Lao[6], Alcely Lau Melo[7], Diego Arturo Gonzalez[7], Shoji Kusunoki[8]

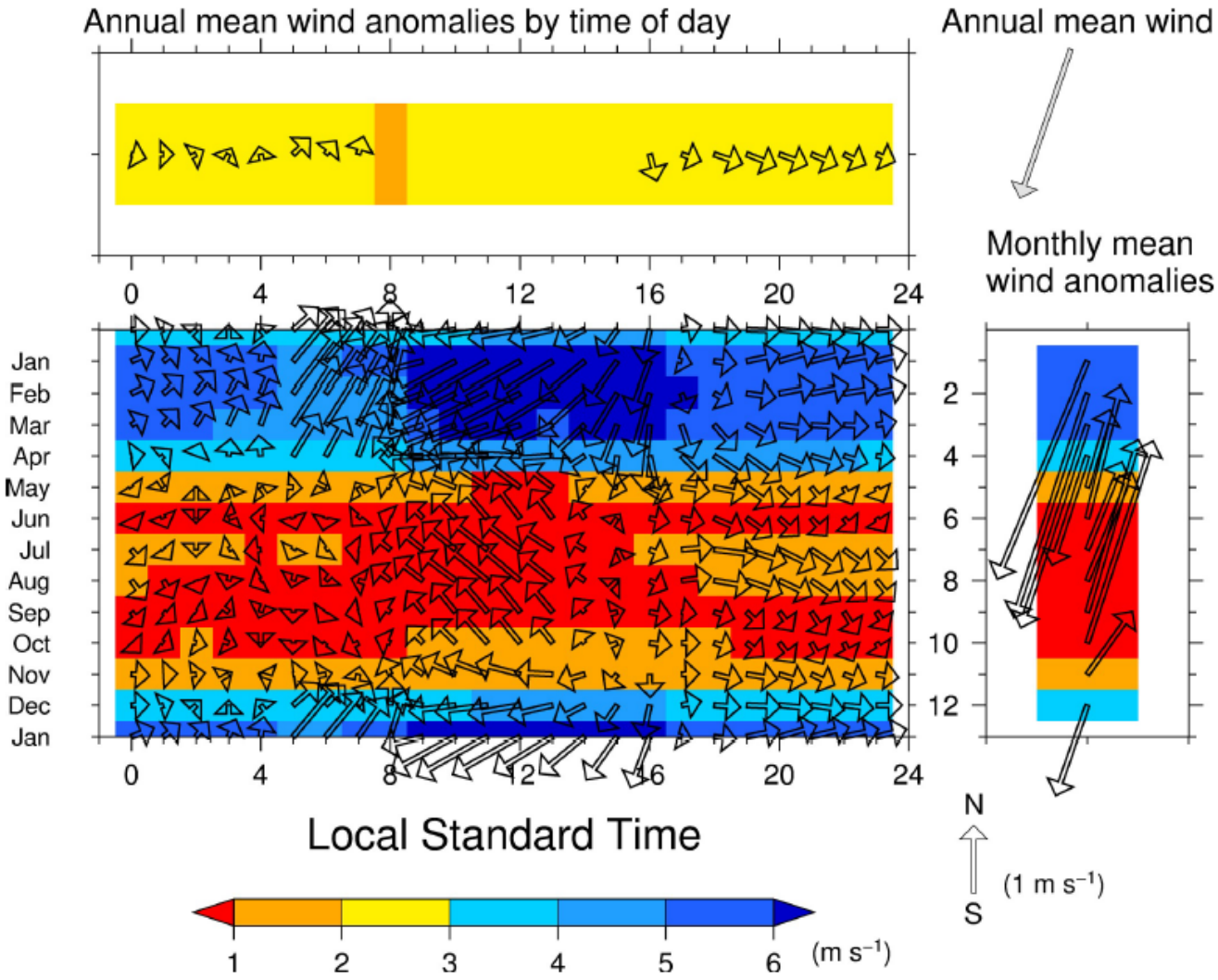


Fig 7. Seasonal changes of (center panel) the diurnal variation of large-scale near-surface wind in each month at the ERA5 grid nearest to the study area, and (right) the monthly mean wind. (top) Annual mean diurnal variation of wind. Vectors in the top and center panels denote wind speed and direction anomalies from the climatological annual mean and monthly mean winds, respectively. Vectors in the right panel denote the monthly wind speed and direction anomaly from the climatological annual mean wind. Color shades denote the magnitude of wind speed.

流域の河川流量状況の把握　流量の時刻特性/季節特性

RESEARCH ARTICLE

Seasonal changes of the diurnal variation of precipitation in the upper Río Chagres basin, Panamá

Tosiyuki Nakaegawa[1]*, Reinhardt Pinzon[2,3], Jose Fabrega[2,3], Johnny A. Cuevas[4], Hector A. De Lima[4], Eric Cordoba[4], Keisuke Nakayama[5], Josue Ivan Batista Lao[6], Alcely Lau Melo[7], Diego Arturo Gonzalez[7], Shoji Kusunoki[8]

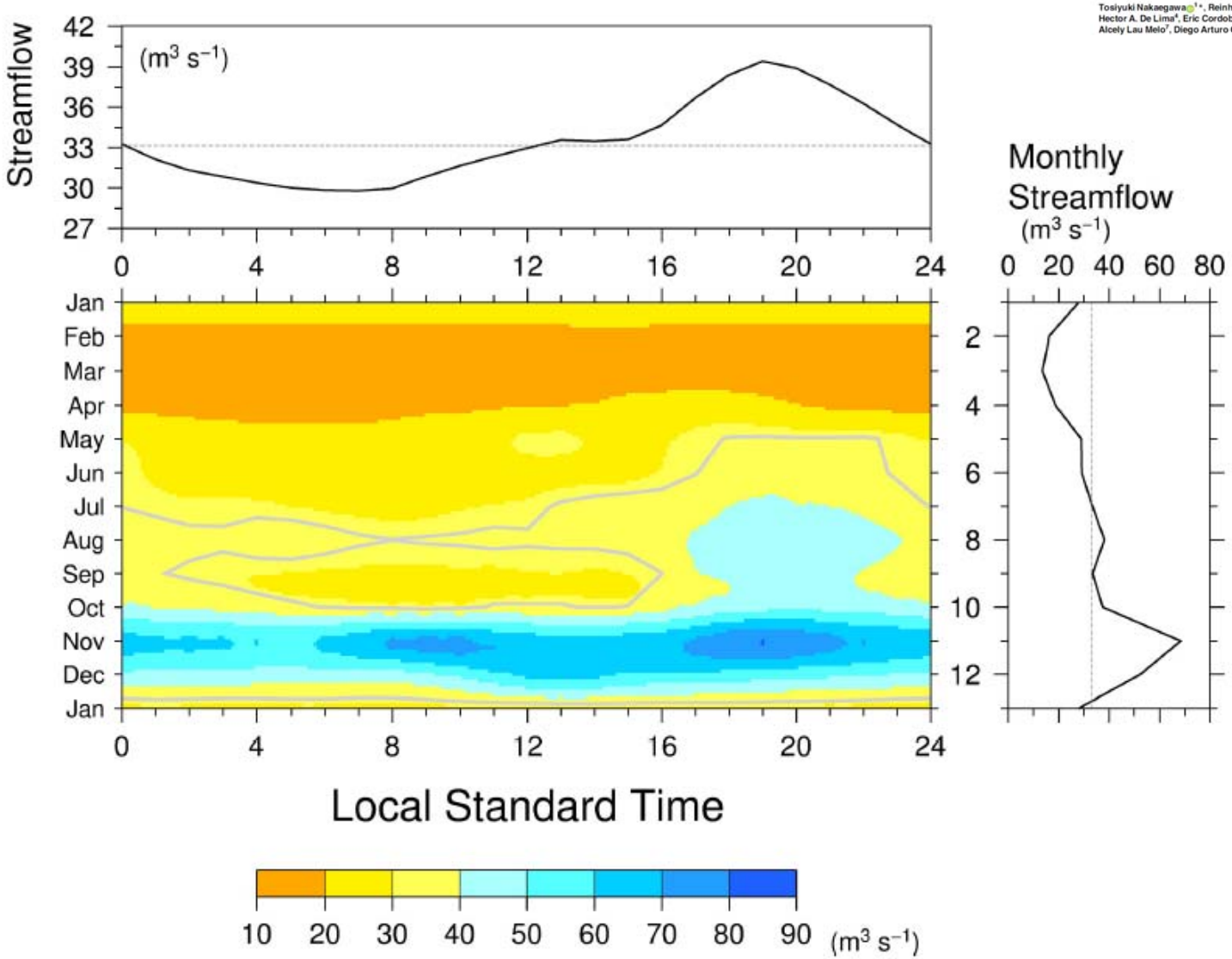
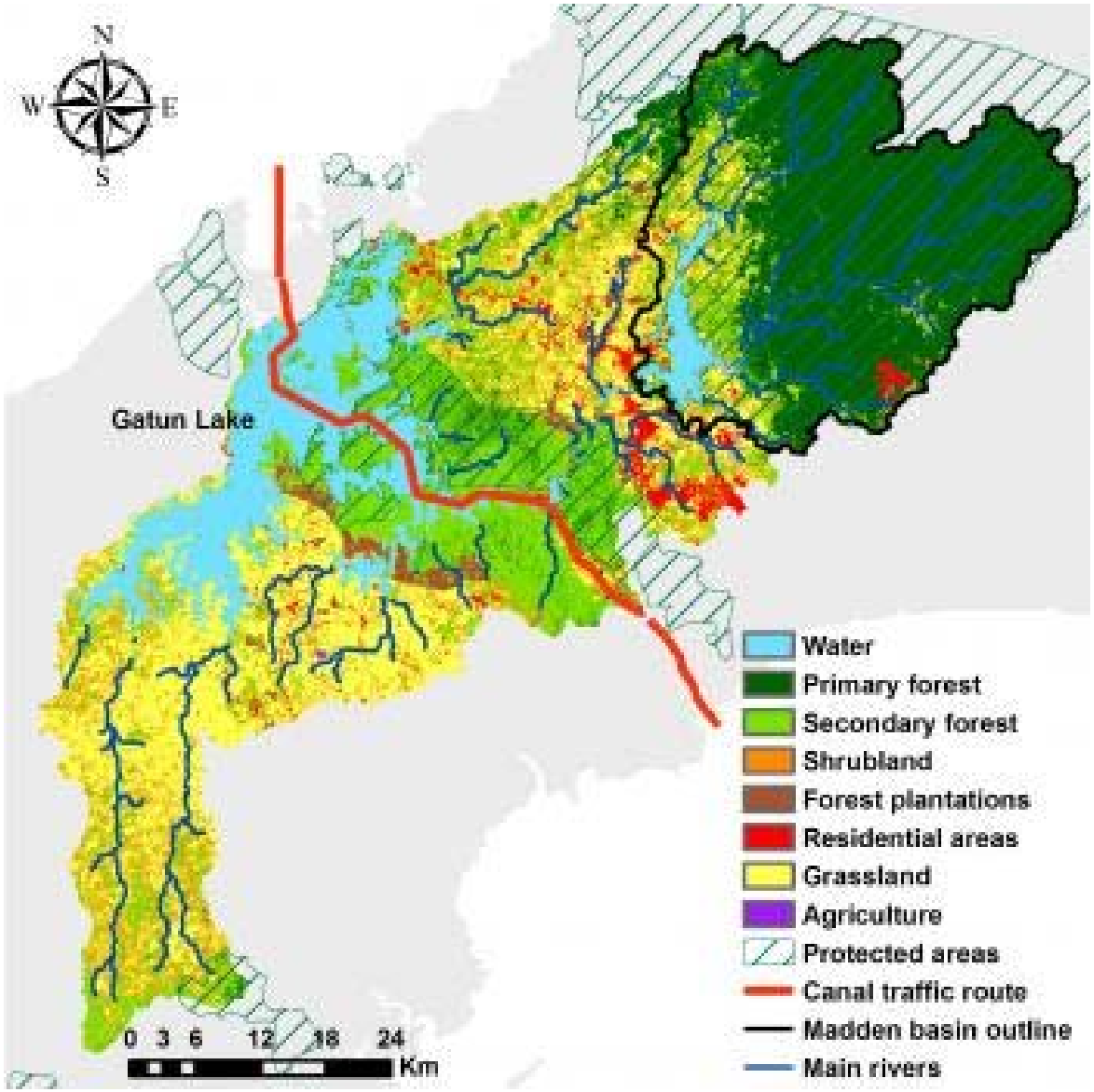


Fig 9. (center) The diurnal variation of streamflow of the Upper Chagres River at Chico station during the year. The gray contours denote annual mean streamflow. (right) Monthly mean streamflow. (top) Annual mean diurnal variation of hourly streamflow. The dashed lines indicate the annual mean hourly (top) and monthly (right) streamflow.

流域の地表特性、植生状況



Climate Risk and Adaptation Country Profile April 2011

地球温暖化によるパナマの降水量変化予測

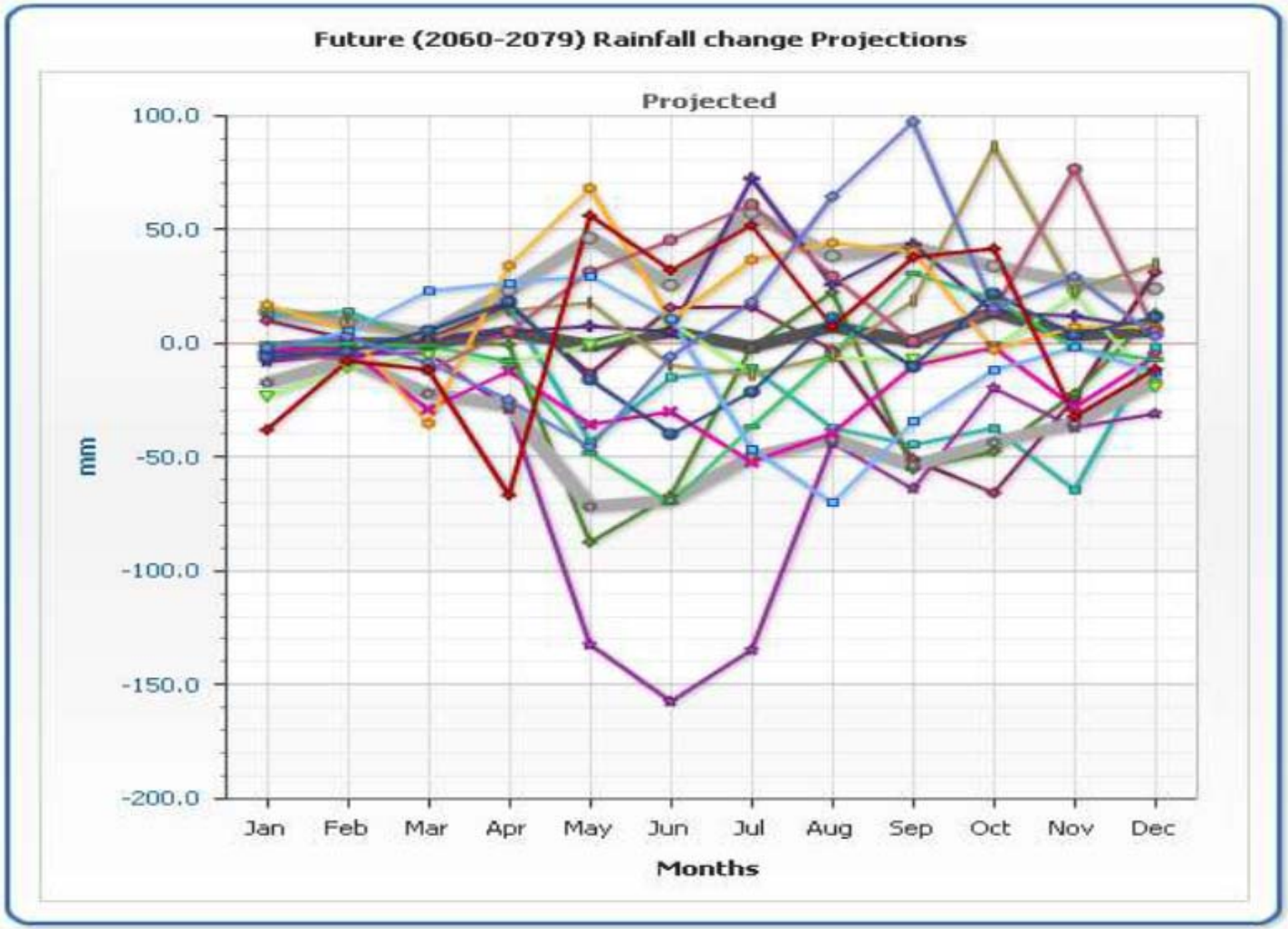


Figure 2: Projected changes in rainfall in central Panama from the control period of 1980-1999 to 2040-2060 across 15 global circulation models[14]

Climate Risk and Adaptation Country Profile April 2011

3次元雨量計　観測データ概要

観測場所：パナマ国際海事大学構内

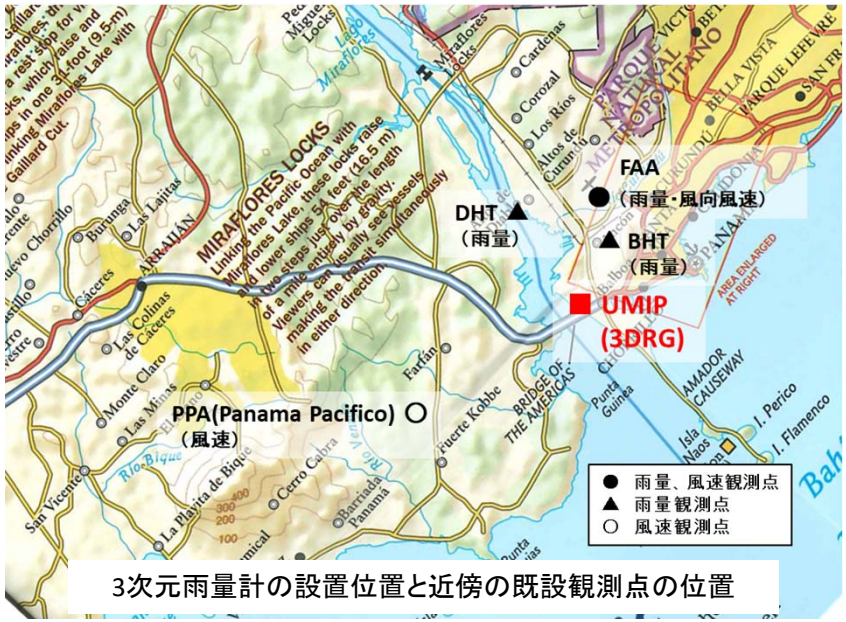
1．データ取得期間

2018/10/17 20:30–2019/1/6 1:2(

2019/5/29 20:00–2019/7/3 0:00

2019/7/24 18:20–2019/7/26 20:(

計　　約4.5ヶ月

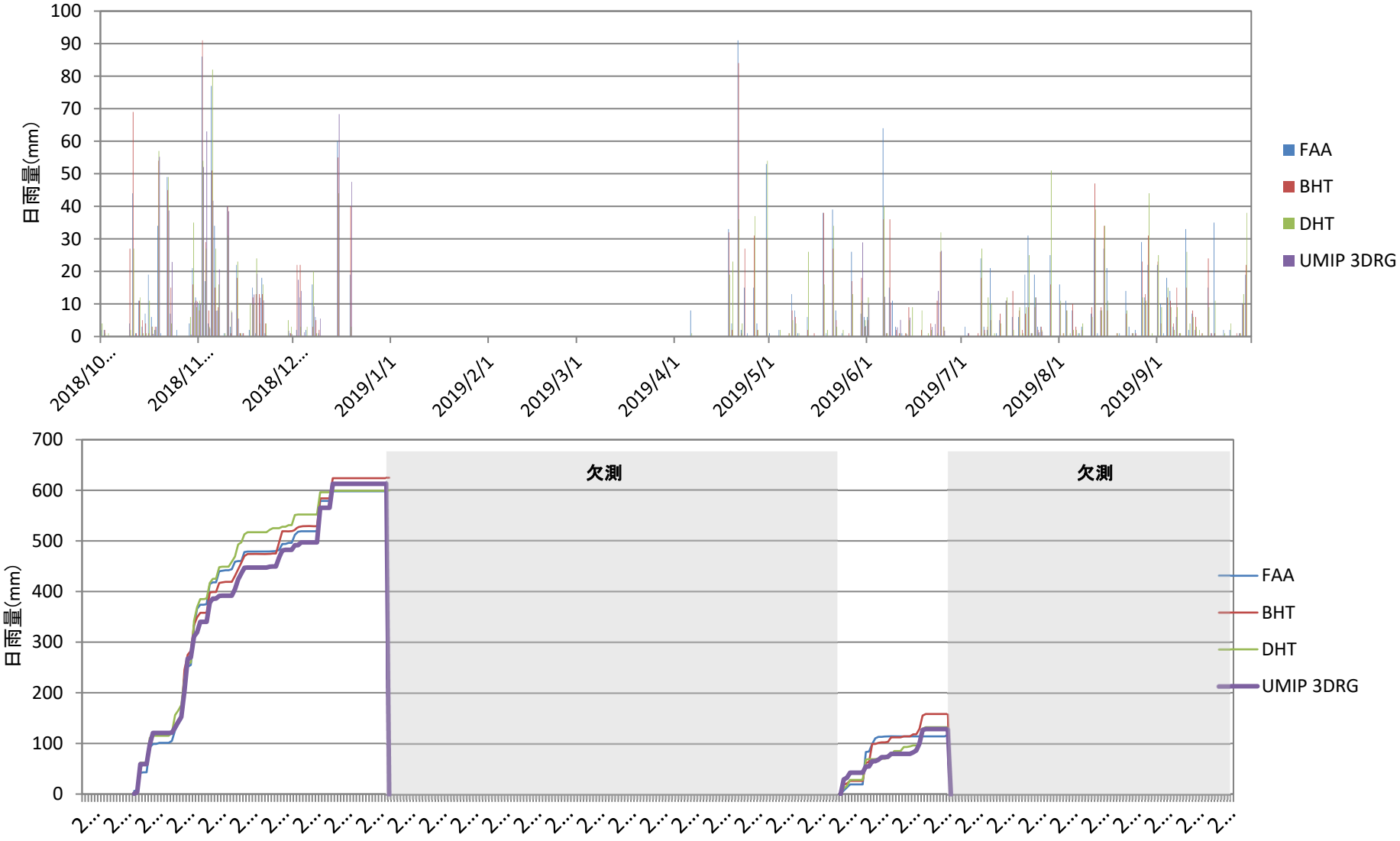


3次元雨量計の設置位置と近傍の既設観測点の位置

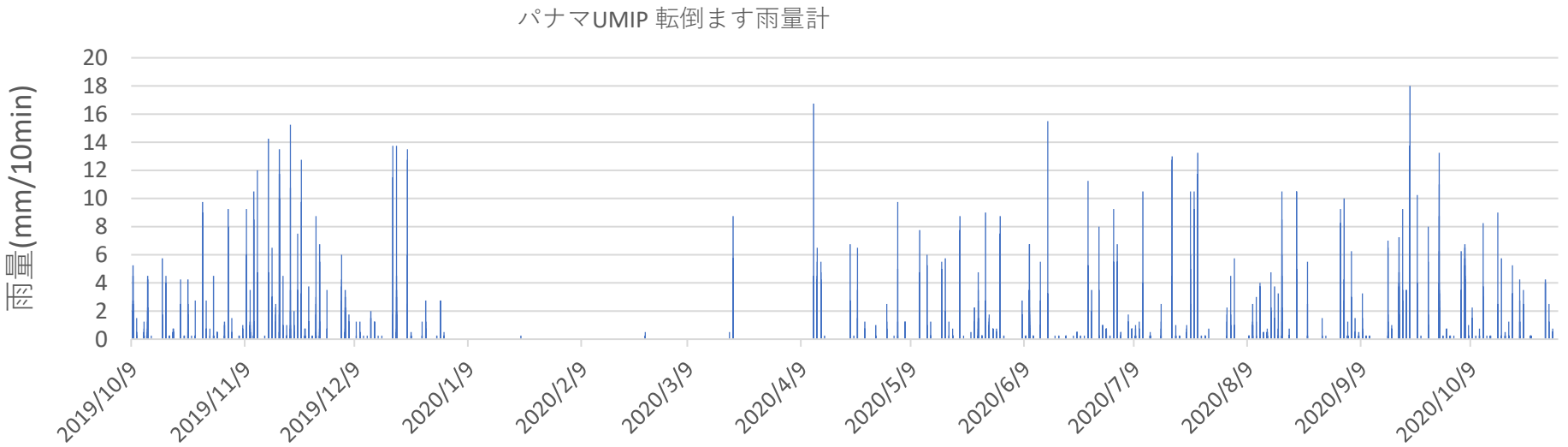
2．主要降雨期間

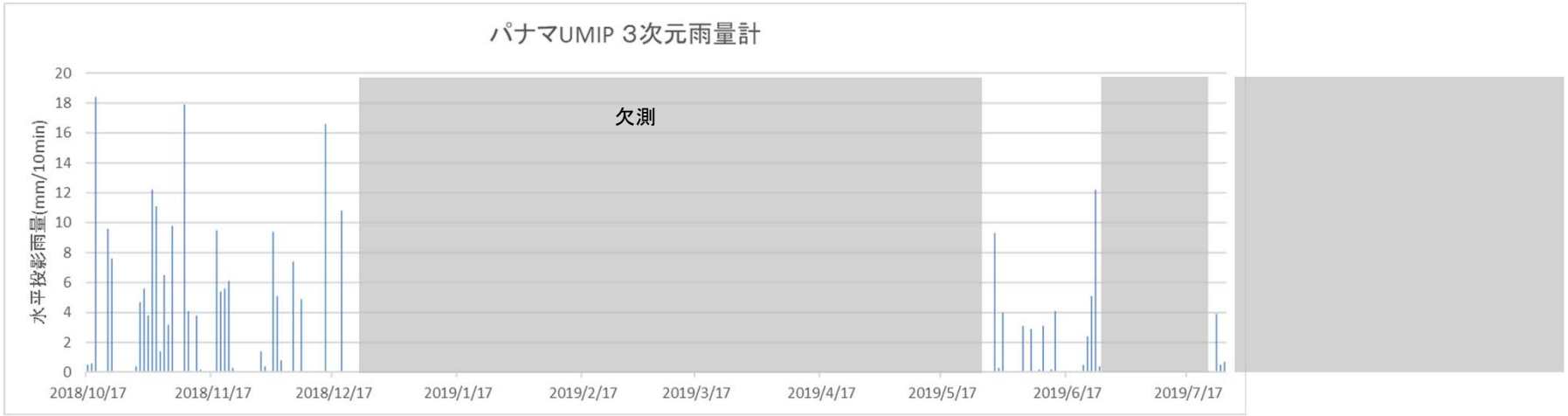
年	起日時	水平投影雨量	
		10分雨量 (mm/10min)	積算量(mm)
2018	10/19 18:10–21:30	18.4	58.8
	10/22 19:10–10/23 0:20	9.6	38.7
	10/23 19:10–20:30	7.6	22.8
	10/31 19:20–11/3 14:50	12.2	134.7
	11/5 19:40–11/7 18:20	9.8	72.8
	11/10 16:50–18:20	17.9	45.7
	11/18 18:00–11/21 18:40	9.5	54.6
	12/2 21:00–12/4 19:30	9.4	32.7
	12/7 17:20–17:50	7.4	9.1
	12/15 18:30–20:40	16.6	68.1
	12/19 19:50–21:40	10.8	47.4
2019	5/30 11:30–6/1 20:00	9.3	41.3
	6/23 20:10–21:10	5.1	14.1
	6/24 20:30–23:10	12.2	40

パナマUMIP、3次元雨量計と近傍観測点（転倒ます雨量計）の比較

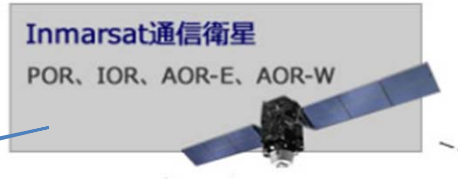


パナマUMIP、3次元雨量計と転倒ます雨量計の比較





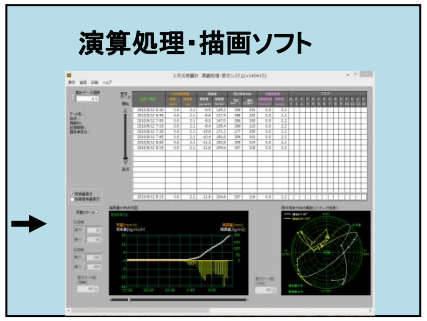
観測・通信システム基盤技術である雨量観測およびリアルタイムデータ伝送の実装試験と性能検証を行った。



Inmarsat　通信衛星回線

Sky-FIX　専用サーバ

MTS雪氷研究所　パソコン

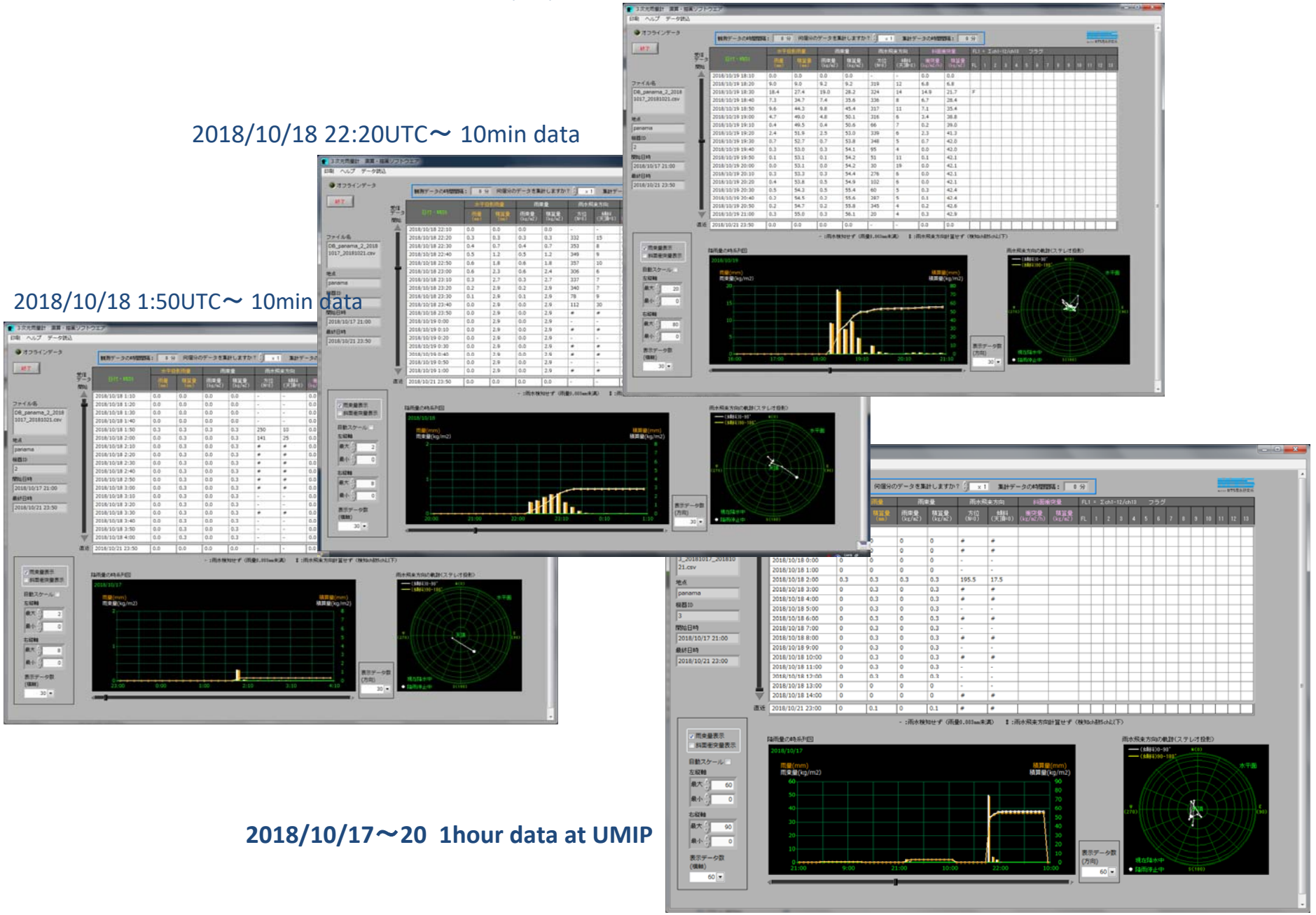


得られた3次元雨量計データ

2018/10/19 18:20UTC～ 10min data

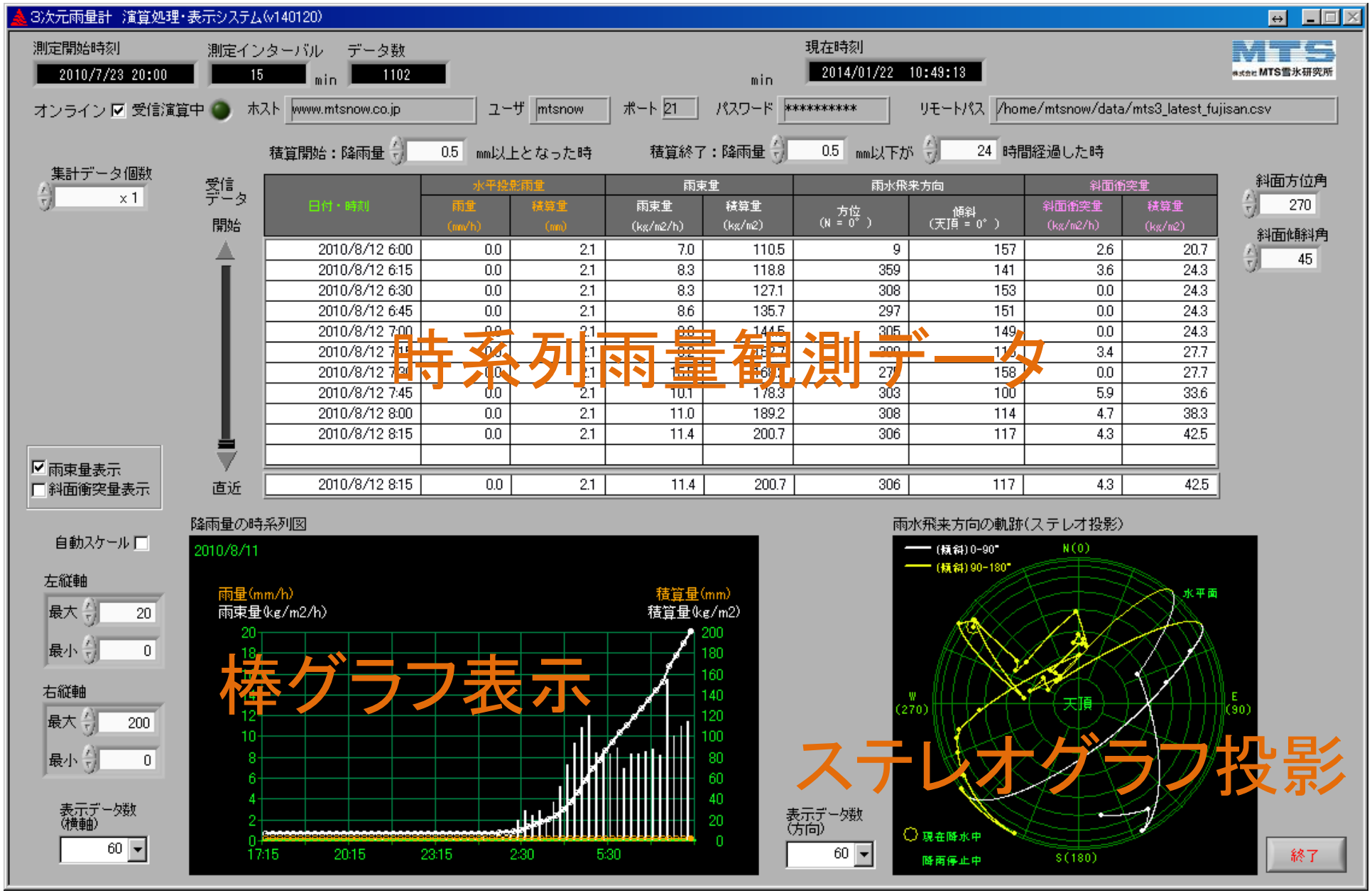
2018/10/18 22:20UTC～ 10min data

2018/10/18 1:50UTC～ 10min data



2018/10/17～20 1hour data at UMIP

3次元雨量計データの内容



日付・時刻	水平投影雨量 雨量 (mm/h)	水平投影雨量 積算量 (mm)	雨束量 雨束量 (kg/m2/h)	雨束量 積算量 (kg/m2)	雨水飛来方向 方位 (N = 0°)	雨水飛来方向 傾斜 (天頂 = 0°)	斜面衝突量 斜面衝突量 (kg/m2/h)	斜面衝突量 積算量 (kg/m2)
2010/8/12 6:00	0.0	2.1	7.0	110.5	9	157	2.6	20.7
2010/8/12 6:15	0.0	2.1	8.3	118.8	359	141	3.6	24.3
2010/8/12 6:30	0.0	2.1	8.3	127.1	308	153	0.0	24.3
2010/8/12 6:45	0.0	2.1	8.6	135.7	297	151	0.0	24.3
2010/8/12 7:00	[illegible]	2.1	[illegible]	144.5	305	149	0.0	24.3
2010/8/12 7:15	[illegible]	2.1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	3.4	27.7
2010/8/12 7:30	[illegible]	2.1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	158	0.0	27.7
2010/8/12 7:45	0.0	2.1	10.1	178.3	303	100	5.9	33.6
2010/8/12 8:00	0.0	2.1	11.0	189.2	308	114	4.7	38.3
2010/8/12 8:15	0.0	2.1	11.4	200.7	306	117	4.3	42.5
2010/8/12 8:15	0.0	2.1	11.4	200.7	306	117	4.3	42.5

研究・活動の独創性と今後に期待される活動

○　本研究は、3次元雨量計を用いた貯水池流域において雨量観測の最初の事例である。

○　同雨量計はMTS 雪氷研究所が開発し国際特許を取得しており、水平360 度、天頂角0~135 度の様々な方向から飛来する雨水を落下方向別に高精度に直接計測することができる。

○　Sky-Fix Com Japan 社が提供する小型・軽量、低消費電力、安価かつ海洋上や山岳など過酷環境での通信の信頼性に優れたインマルサット衛星通信端末を利用し、通信ケーブル、携帯電話回線等の通信インフラが利用できない場所に設置された雨量計のデータをリアルタイムに伝送するモニタリングを実現する。

○　3次元雨量計とインマルサット衛星通信端末と組み合わせる独創的なシステムは、通常の雨量計では不可能な高精度の流域降雨量を計測できる可能性が高く、その成果はガトゥン湖の水文環境の解明とパナマ運河の運航管理に資すると考えられる。

今後に期待される活動

(1)　3元雨量計の特性が発揮する重要地点への3次元雨量計と転倒ます雨量計の併設

⑵ パナマ運河庁、パナマ工科大学、スミソニアン熱帯研究所等との協議、連携による観測

⑶ 観測データの分析とパナマ運河庁への観測機器と観測の移管