公開資料

国際科学技術共同研究推進事業

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）

研究領域「開発途上国のニーズを踏まえた防災に関する研究」

研究課題名「フィリピンにおける極端気象の監視・情報提供システムの開発」

採択年度：平成２８年（２０１６年）度/研究期間：５年/

相手国名：フィリピン共和国

令和２（２０２０）年度実施報告書

国際共同研究期間*1
２０１７ 年 ４ 月 １９ 日から２０２２ 年 ４ 月 １８ 日まで
JST 側研究期間*2
２０１６ 年 ６ 月 １ 日から２０２３ 年 ３ 月 ３１ 日まで
（正式契約移行日　２０１７ 年 ４ 月 １ 日）

*1 R/D に基づいた協力期間（JICA ナレッジサイト等参照）

*2 開始日=暫定契約開始日、終了日=JST との正式契約に定めた年度末

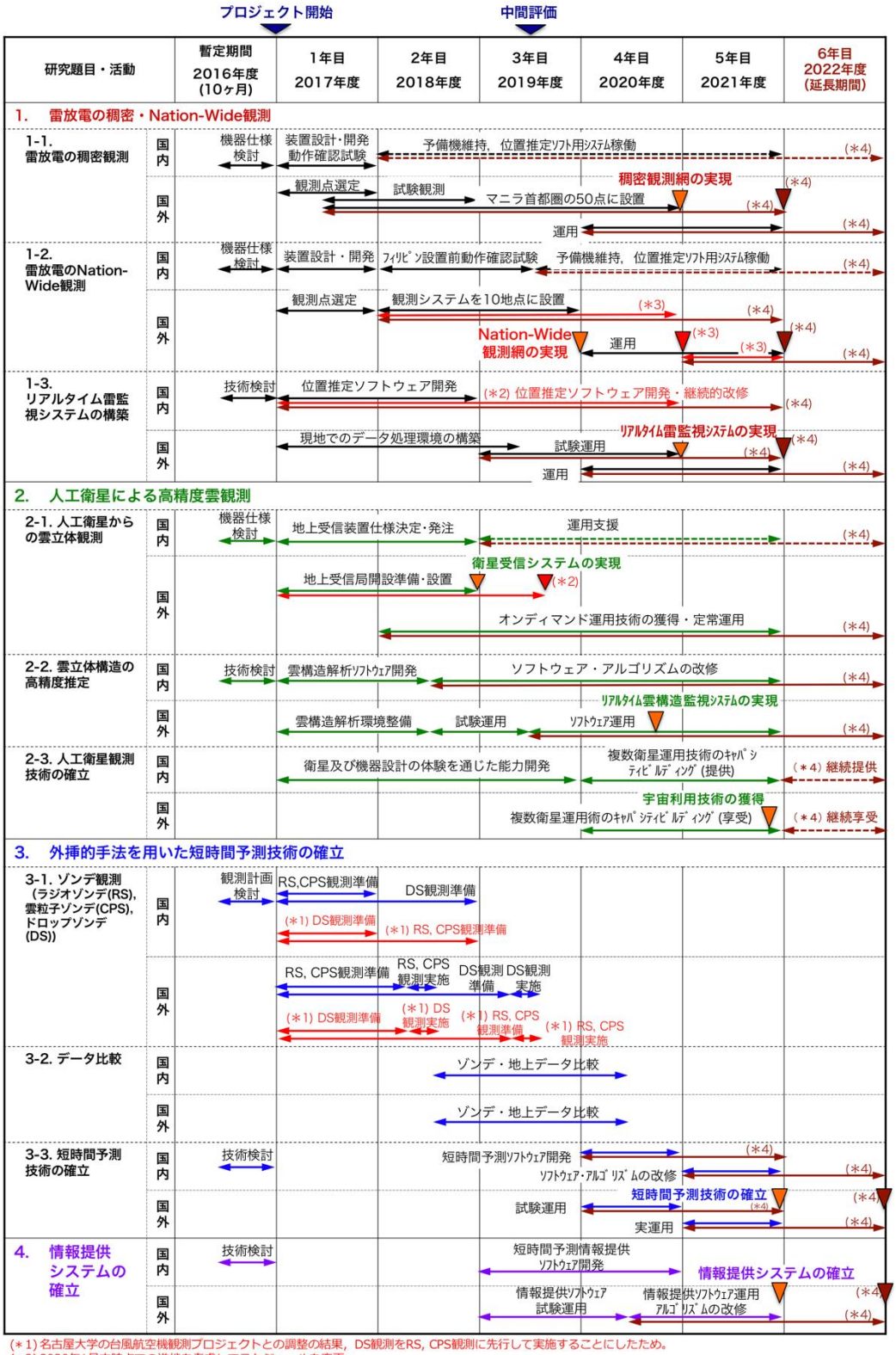
研究代表者：　高橋　幸弘

北海道大学大学院理学研究院・教授

Ⅰ．国際共同研究の内容（公開）

１．　当初の研究計画に対する進捗状況

(1)研究の主なスケジュール



(＊1) 名古屋大学の台風航空機観測プロジェクトとの調整の結果，DS観測をRS, CPS観測に先行して実施することにしたため。
(＊2) 2020年1月末時点での進捗を考慮してスケジュールを変更。
(＊3) COVID-19の影響により，スケジュールを再調整。
(＊4) COVID-19の影響により，スケジュールを再再調整。

(2)プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

特になし。

２．プロジェクト成果の達成状況とインパクト（公開）

(1) プロジェクト全体

- マニラ首都圏の雷放電観測網（P-POTEKA で構成）に関して、2019 年度末までに 35 式の P-POTEKA を設置完了した。2019 年度末までには，マニラ首都圏に 40 カ所，2020 年度中に残る全ての設置を目指す予定であったが、新型コロナウイルスの影響から ASTI のメンバーが設置場所に訪問できずにおり、設置と観測開始が遅れている。しかしこの設置数でもすでに世界的にみて、都市部の観測網としては最高密度・最高設置数を達成しており、放電電荷高度の時間変動など、新しい知見を生み出している。
- Nation-wide の雷放電観測網（V-POTEKA で構成）に関して、2019 年度末までに 6 箇所へ設置完了し、残り 4 カ所も設置完了させる予定であった。しかし、新型コロナウイルスの影響から ASTI のメンバーが設置場所に訪問できずにおり、設置と観測開始が遅れているが、この設置数でも最低限のデータ供給は可能であり、フィリピン付近の雷放電活動の推定をすでに開始している。
- 台風観測などを目的として同型の V-POTEKA を 2019 年 6 月にインドネシアに設置したが、機器一式が 2020 年 4 月に盗難被害に遭い、観測を停止した。V-POTEKA を再製造しインドネシアに輸送後、2020 年 12 月に観測を再開した。
- 2020 年 10 月末に台風 19 号（Rolly）が、さらに 11 月に 22 号（Ulysses）が相次いでフィリピンを直撃したが、P-POTEKA および V-POTEKA の機器損傷度合は極めて限定的であった。Legazpi に設置している V-POTEKA の VLF アンテナが折れて破損した以外は、大きな影響はない。Legazpi の VLF アンテナに関しては、ASTI のメンバーが訪問できるようになり次第、予備品を用いて修理を行う予定。
- 2020 年 8 月に、超小型衛星と地上カメラによる雲の立体撮影キャンペーンを東京および札幌で実施し、札幌では同時観測に初めて成功した。ただし、コロナ禍による外出制限のため観測が制約を受け、キャンペーン回数を増やせず、積乱雲の同時観測には至っていない。
- 2019 年にフィリピンの Iloilo に地上アンテナ設備を設置し、試験観測を完了したが、その後不具合が発生し、2020 年度は新型コロナウイルスの影響から修復作業ができていない。
- 2020 年の台風 9 号（Maysak）について、その中心部を狙った超小型衛星によるターゲットポインティング撮影に成功し、これまでにない精緻な台風中心部の 3D モデルを作成することができた。また、超小型衛星により、積乱雲が対流圏界面を超えて発達したプリュームと思われる構造の観測に成功した。
- マニラ首都圏に設置した P-POTEKA から得られる気象データと機械学習を用いた直前気象予測アルゴリズムを開発した。過去 1 時間の降水データから、30 分先まで精度高く予測することが可能であるという初期結果を得ている。
- 2020 年 8 月に雷放電位置推定するソフトウェアを開発し、Web 上に雷放電位置を表示するシステムを試験的に開始した。
- 2020 年台風 8 号（Bavi）、9 号（Maysak）の発生時に台風周辺の積乱雲が発達し雷頻度が急激に増

加する現象を捉えた。一方で、雷頻度が少ない状態で台風が発生する事例もあり、継続的な解析を進めている。

(2) 研究題目１：「雷放電の稠密観測・Nation-Wide 観測」（リーダー：高橋幸弘・北海道大学）

①研究題目１の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

（ｉ）P-POTEKA・V-POTKEA の設置と運用

マニラ首都圏における雷・気象稠密観測網を構築する目的で、製造した P-POTEKA の設置を進めている。2019 年度末までに合計で 35 式の P-POTKEA の設置を完了させた。これは、全 50 式のうちの 70%に相当する。2020 年度も引き続き残りの 15 式の設置を進める計画であったが、COVID-19 感染拡大によりフィリピン（特にマニラ首都圏）における厳しい都市封鎖が行われたため、設置は進捗しなかった。ただ、設置を開始した 2018 年度以降、これまで何度も台風の直撃や豪雨に見舞われたが機器の損傷は極めて限定的で、安定した観測を継続しており高い耐候性が示された。2021 年度以降は、残りの 15 式の設置と追加のフィールドミルセンサよびインフラサウンドセンサの取り付け、さらに、3G 通信回線を LTE 回線に切り替えるための基板換装を計画している。なお、Brgy. Ugong Valenzuela City に設置した P-POTEKA は、現地の建築工事作業の関係で撤去要請を受けたため 7 月 10 日に撤去作業を行った。現在、代替の設置場所を探しているが、新型コロナウイルスの影響でカウンターパートである ASTI メンバーの活動が強く制限されており、代替地の確定には至っていない。

一方、フィリピンを含むより広い領域で発生する雷放電を検出することを目的として、Nation-wide 用の V-POTEKA の設置を 2018 年度以降進めている。これまでに合計 6 箇所の設置を完了させた。これは全 10 箇所の 60%に相当する。2019 年度末までに残りの 4 箇所(Aparri, Batanes, Iloilo, Tacloban）への設置を予定していたが、COVID-19 感染拡大の影響で ASTI メンバーがフィリピン国内での活動が不可能となり、設置を断念した。活動が再開され次第、これら 4 箇所への設置を進める予定である。2020 年台風 19 号（Rolly）の直撃によって Legazpi に設置した V-POTEKA の VLF アンテナが破断するというトラブルが発生したが、予備品を現地に送付し交換してもらい、観測を再開している。

なお、データ通信に使用している 3G 回線がフィリピン国内では使用不可能となることが予定されているため、LTE 回線でのデータ通信ができるようにするための LTE モジュール基板を新規に製造発注した。2021 年度は全ての P-POTEKA, V-POTEKA に搭載されている 3G モジュール基板を LTE モジュール基板に換装する予定である。

（ⅱ）雷放電発生位置推定ソフトウェアの開発

フィリピンに設置した V-POTEKA および他財源で北西太平洋域に展開（沖縄，グアム，パラオ，マニラ，インドネシア・セルポン）している複数の V-POTEKA（AVON 観測網）から得られる雷放電データを用いて、雷放電発生位置を推定するソフトウェアの開発を進めている。

AVON 観測網の V-POTEKA データを用いた雷放電の位置検出を行うソフトウェアの開発は、北海道大学に在学していた留学生らの協力のもと完了している（図 1)。位置推定精度も約 40 km を達成している。今後は、このソフトウェアを 1 時間毎に自動で実行し、推定した雷放電発生位置を Web ペー

ジで公開する部分の作り込みを行うと共に、さらなる推定精度向上を図る予定である。

一方、フィリピン国内に設置した V-POTEKA データを用いてフィリピン国内で発生する雷放電の位置検出を行うソフトウェア開発も進めている。基本的なアルゴリズムは北西太平洋域 V-POTEKA データ処理のソフトウェアと同一であるが、V-POTEKA の設置地点が異なる点やデータフォーマットが一部異なる点などがあるため、必要な改修を行い早期に開発を完了させる予定である。また、北西太平洋域 V-POTEKA と同様に、1 時間毎に自動で雷放電発生位置を推定し Web ページに公開する部分の開発も同時進行で進める。

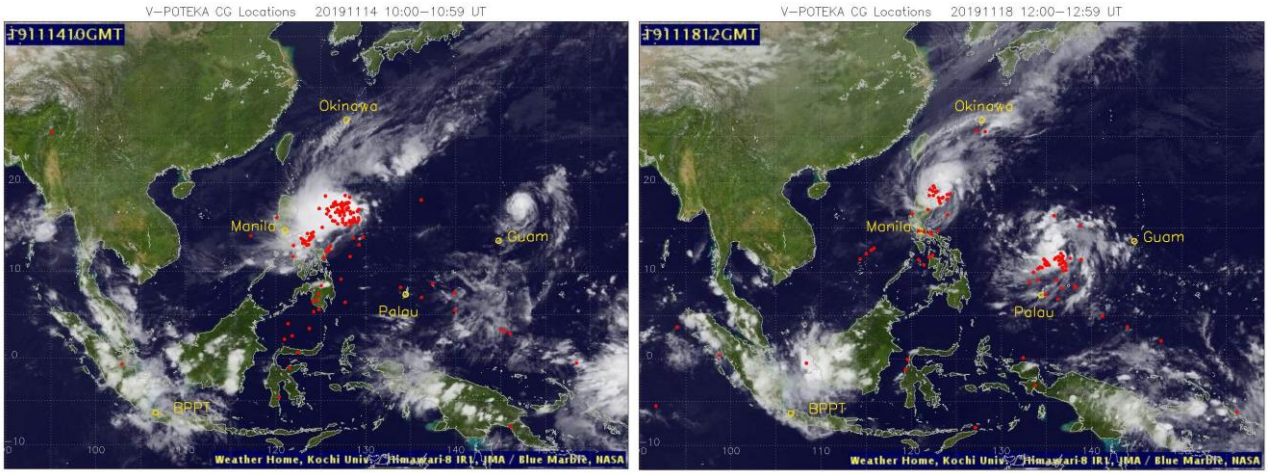


図 1. (左)2019 年 11 月 14 日 10-11UT における赤外雲画像と、V-POTEKA データから推定した雷放電位置(赤点)。(右) 2019 年 11 月 18 日 12-13UT における赤外雲画像と推定した雷放電位置。(左)ではフィリピン北方に台風 26 号が、(右)では台風 26 号と 27 号（フィリピン東方）が位置し、その雲の中で多くの雷放電が検出されている。

(iii)台風強度発達と雷活動との相関性に関する研究

V-POTEKA データを用いた雷放電発生位置推定に関しては、2018 年から 2020 年の 3 年分に対して完了している。この雷放電データを用いて、2018 年から 2020 年に発生した台風の強度発達と雷放電発生数との相関解析を進めている。

図 2 は、2019 年台風 27 号の例である。台風の中心から半径 500 km の円内で発生した雷放電を計数し、台風の強度発達との時系列比較を行った。その結果、雷放電発生数は台風の風速に対してピークが 30 時間先行し、台風の気圧に対してピークが 24 時間先行することが明らかとなった（図 3)。同様の相関解析を 2018 年から 2020 年の台風 46 例に対して進めた結果、台風の最大風速に対して雷放電数は 33-36 時間先行し、台風の最低気圧に対して雷放電数は 36-42 時間先行することが明らかとなった（表 1)。さらに、カテゴリー1 から 4 にかけて台風の規模が大きくなるにつれてラグ時間（先行時間差）が大きくなっていくことも明らかとなった（図 4)

今後は、これまでに得られた結果を基に、雷放電数から台風強度発達を推定する経験式を導出し、V-POTEKA データを用いた雷放電位置推定と台風強度発達の直前予測を行う自動処理技術を確立する予定である。

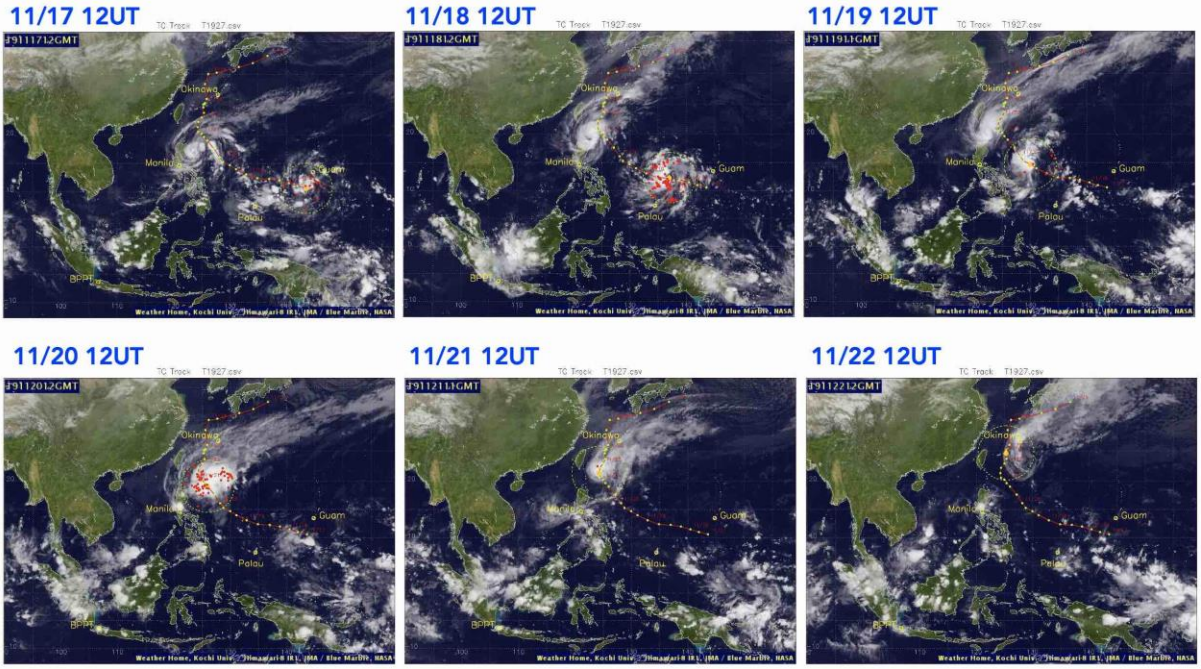


図 2. 2019 年 11 月に発生した台風 27 号の雲画像と V-POTEKA で捉えた雷放電発生位置（赤点）。

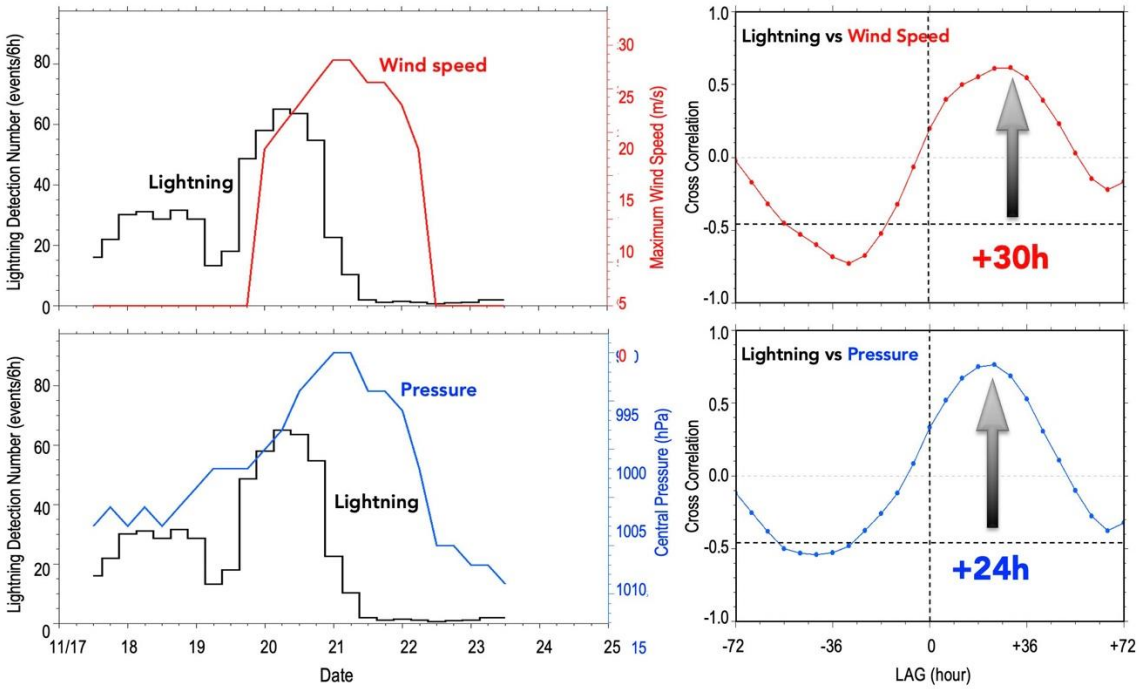


図 3. （左）2019 年台風 27 号台風強度（風速・気圧）と V-POTEKA で捉えた雷放電検出数の時間変化。
（右）台風強度と雷放電数との相関解析の結果。正のラグ時間は、雷放電数のピークが台風強度のピークに先行していることを示す。

表 1. (左)2018 年から 2020 年に発生した台風のうち解析した 46 例の強度による分類。
(右)台風風速・気圧と雷放電数との相関解析のまとめ。

Number of Analyzed Typhoon Events

Category	Wind speed [m/s]	Number of events
Cat-1	>17	12 events
Cat-2	>23	7 events
Cat-3	>33	13 events
Cat-4	>42	6 events
Cat-5	>51	8 events
	TOTAL	46 events

Summary of Cross Correlation Analysis

	Lightning vs. Wind speed		Lightning vs. Pressure	
	R	Lag (h)	*R*	Lag (h)
Average	0.53	+36	0.57	+42
Median	0.50	+33	0.57	+36

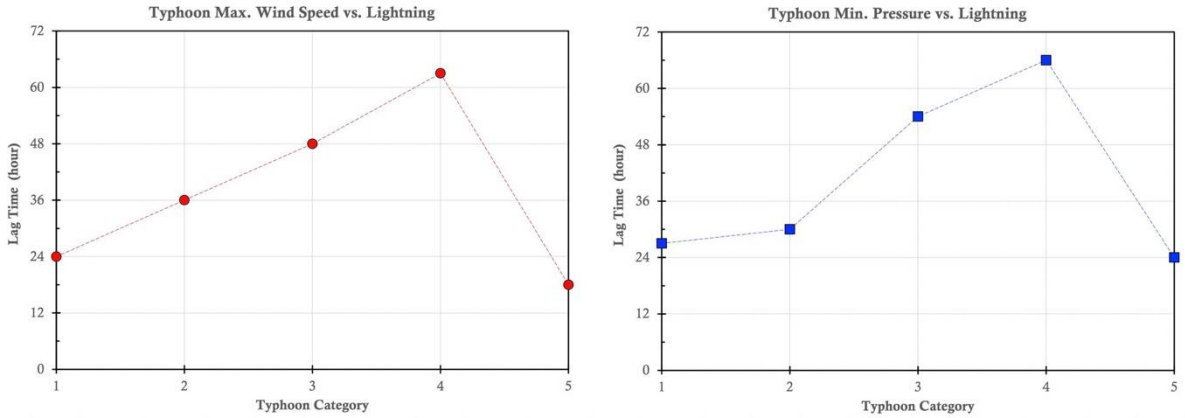


図 4. (左)雷放電数が台風風速に対し先行するラグ時間の、台風強度による違い。
(右)(左)と同様だが台風気圧に対するもの。強度が弱い台風ほどラグ時間が短くなる。

②研究題目１のカウンターパートへの技術移転の状況

2017 年 10 月から北海道大学で学ぶ国費留学生に対し、雷データの処理方法と雷発生位置推定ソフトウェア開発に関する技術移転を行った。また、2018 年 4 月から北海道大学で学ぶ SATREPS プロジェクト所属の留学生に対し、気象稠密観測データおよび人工知能の技術を用いた豪雨予測のアルゴリズム開発に関する技術移転を行った。

③研究題目１の当初計画では想定されていなかった新たな展開

特になし。

④研究題目１の研究のねらい

雷放電活動を伴う活発な積乱雲発生とそれに伴う極端気象を監視するため、気象・雷放電観測装置をフィリピンを含む北西太平洋域に展開し、地上観測網を構築する。それにより雷放電活動をリアルタイムでモニターし、積乱雲活動を定常的に監視する手法を確立する。

⑤研究題目１の研究実施方法

フィリピン（先端科学技術研究所(ASTI)、大気地球物理天文局(PAGASA)）の運用する気象ステーションなど 10 カ所に実運用型の雷・気象観測装置 V-POTEKA を展開することで Nation-wide の雷放電観測網を新たに構築する。また、マニラ首都圏の 50 カ所に、実運用型の雷・気象観測装置（P-POTEKA）を設置することで、マニラ首都圏を中心とした稠密観測網を構築する。これと同時に、東南アジア７カ所の VLF 電波観測網（AVON 観測網）の整備・改良と、Nation-wide 雷放電観

測網を組み合わせることで、フィリピン全土で発生する落雷の位置を 10km 以下の精度で同定し、またマニラ首都圏の気象予測の背景となる、台風などの広域（数百 km スケール）の積乱雲活動をリアルタイムでモニターする手法を確立する。AVON は東南アジアで唯一の VLF 帯の放電波形観測する多点観測網であり、それを整備・改良することで、フィリピンに接近する台風に伴う雷放電活動を、台風の発生段階から通過後に至るまでの一貫した監視が可能になる。

(3) 研究題目２：「人工衛星による高精度雲観測」（リーダー：吉田和哉・東北大学）

①研究題目２の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

2020 年 8 月に、超小型衛星と地上カメラによる雲の立体撮影キャンペーンを東京および札幌で実施し、札幌では同時観測に成功した。ただし、コロナ禍による外出制限のため観測が制約を受け、キャンペーン回数を増やせず、積乱雲の同時観測には至っていない。2019 年度に地上アンテナ設備の設置を設置し、試験観測を完了したが、その後不具合が発生し、2020 年度はコロナのため修復作業ができていない。2020 年の台風 9 号について、その中心部を狙った超小型衛星によるターゲットポインティング撮影に成功し、これまでにない精緻な台風中心部の 3D モデルを作成することができた。積乱雲が対流圏界面を超えて発達したプリュームと思われる構造の観測に成功した。

(i) 人工衛星からの雲立体観測

Dumangas Climate Field School に設置された衛星地上運用設備は当初高いパフォーマンスを示したが、その後不具合が生じた。原因・対処法は分かっているが、コロナのために現地作業が実施できていない。コロナが収束次第、日本側からも赴いて対応する予定である。チャンスは限られていたが、2020 年度も、ASTI ケソン局、日本局での衛星運用、特に、地上受信設備を用いたオンディマンド運用を実施した。その結果、台風 9 号の中心部の 3D 観測に成功した。

(ⅱ)雲立体構造の高精度推定

2020 年の台風 9 号について、衛星のオンディマンド運用で得られた中心部の複数の写真から、その立体構造を推定することに成功した。すでに台風の目は衰退した時期であったが、周囲の雲がスパイラル状に中心に向かって雲頂高度を下げている様子を初めて捉えることに成功した（図 5）。

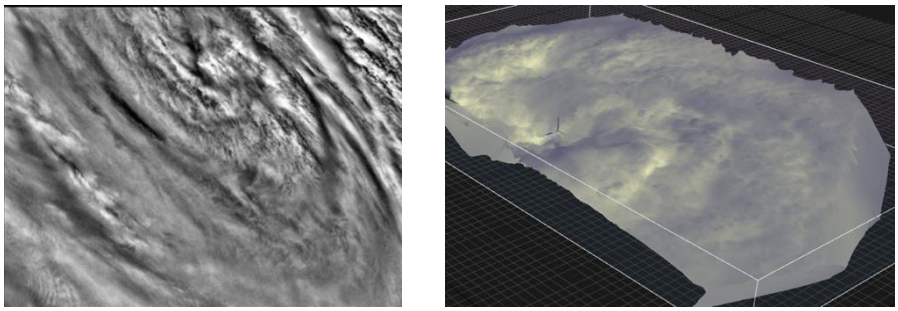


図 5. DIWATA-2 搭載カメラ（ERC）によって得られた台風中心部の画像（左）と推定された 3D 構造（右）

また、2018 年の航空機キャンペーンによって撮影された、台風の目の中の写真から、詳細な 3D 構造を推定することに成功した（図 6）。目の内部は中心部に向かって階段状に雲頂高度が下がっている様子が世界で初めて発見された（現在論文投稿準備中）。

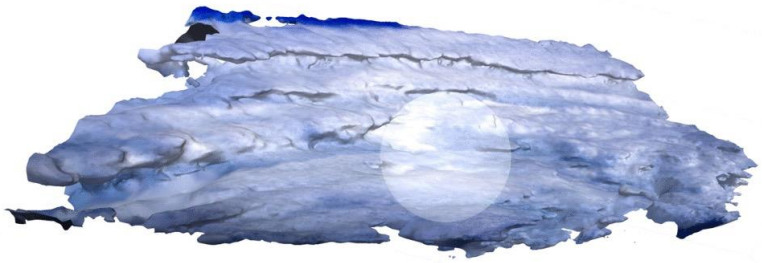


図 6. 2018 年 9 月 26 日に航空機から撮影された画像から作成した台風 Trami の目の中の構造

さらに、2020 年夏季に実施した、地上観測から、積乱雲の側面の 3D 構造を推定することに初めて成功した（図 7）。カメラは地上に数 100m 間隔で 5 台設置され、露光のタイミングを同期して 30 秒ごとに撮影を行った。

図 7. 地上に設置されたカメラから撮影された画像から求めた積乱雲側面の 3D 構造

こうした 3D 構造は、台風強度の高精度推定やゲリラ豪雨の発達予測のための有効な情報と考えられ、今後他の推定方法との比較を行い、また降雨との定量的関係を調査する予定である。

（iii）人工衛星観測技術の確立

2019 年度は DIWATA-2 に続き、日本（北大・東北大）が開発した RISESAT を打ち上げ、その運用が開始された。さらに 2021 年 3 月に、ミャンマーの衛星を国際宇宙ステーションから放出することに成功し、初期運用を順調に続けている。2019 年度に続き 2020 年度にも、地上に設置したデジタルカメラとの観測同時観測キャンペーンを実施した。オンディマンドによるターゲットポインティング撮影を行い、積乱雲ではないが、衛星と地上で同じ領域を捉えることに初めて成功した。

②研究題目２のカウンターパートへの技術移転の状況

衛星運用および初期データ解析の手法は既にフィリピン側に技術移転されており、今回の衛星運用も、日本側のリクエストに基づき、フィリピン側が単独で行っている。また、新たな 3D 解析は、日本側スタッフと、日本に滞在中のフィリピン人留学生によって行われており、留学生帰国時には自動的に技術の移転が完了する。

③研究題目２の当初計画では想定されていなかった新たな展開

①で紹介した積乱雲側面の詳細な立体構造の推定は、当初の積乱雲の下部の推定を超えており、今後積乱雲の発達を考慮する上で貴重な資料となると考えている。

④研究題目２の研究のねらい

地上観測などの先験情報に基づいて衛星をオンディマンド運用し、台風や積乱雲の 3D 構造を、従来の衛星の精度やカバー範囲を超えて推定し、台風強度の精密推定や降雨予測に供する。

⑤研究題目２の研究実施方法

衛星に搭載されたカメラを用い、衛星の軌道運動を利用して雲を複数角度から観測し、その画像から 3D 構造を推定する。同様に、地上に設置された複数のカメラを用い、積乱雲など雲の下部および側面構造を推定する。

(4) 研究題目３：「外挿的手法を用いた短時間予測技術の確立」（リーダー：松本淳・東京都立大学）

① 研究題目３の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

(i) データ比較

短時間予測技術の確立に向けて、集中豪雨などをもたらす活発な積乱雲内部の気象データを得て鉛直構造を把握する目的で、夏季モンスーンの最盛期の 2019 年 7 月－8 月にラジオゾンデを放球した高層気象観測の集中観測キャンペーンを PAGASA のタナイ気象台で実施した。ラジオゾンデデータから、フィリピン周辺の夏季モンスーンが活発になると対流圏 5km の高度まで強い南西風が吹き(図 8 のピンク色の期間)、マニラでの雲活動が活発化し P-POTEKA で得られたマニラ首都圏の雨量が多くなった(図 8 a, b)。その際、強い雨は 1 日中降っていることがわかる(図 8 c, d)。それに対して南西風が弱いモンスーン不活発期の雨量は少なく、強い雨が降るときは、午後から夜にかけて集中する傾向が見られる。

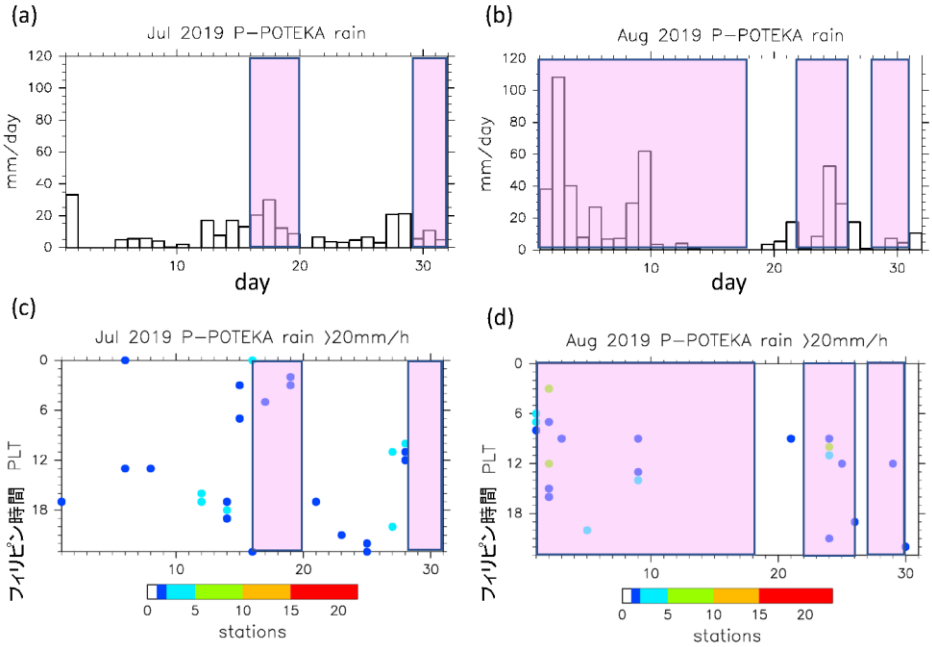


図 8. 2019 年 7 月 (a, c) と 8 月 (b, d) のマニラ首都圏に設置した 23 地点の P-POTEKA の平均日雨量 (a, b) と時間雨量 20mm 以上を観測した時刻の地点数 (c, d)。

ラジオゾンデ集中観測期間中の 2019 年 8 月に、雲粒子や降水粒子の数密度等を直接測定する目的で、PAGASA のタナイ気象台にて、合計 10 回の気球搭載 CPS 雲粒子ゾンデの飛揚を実施した。ラジオゾンデと雲粒子ゾンデの観測を用いて、大気場と雲の鉛直分布を比較した。2020 年 8 月 9 日の相対湿度と雲粒子数密度の鉛直分布を図 9 に示す。タナイ気象台のラジオゾンデ(LMS6)は対流圏上部で相対湿度が低い傾向があり、雲粒子ゾンデに付随したラジオゾンデ(RS-11)と Yoneyama et al. (2021)で補正した(図 9)。Yoneyama et al. (2021)で補正した場合のほうが、対流圏上部の相対湿度が改善した。

Yoneyama, K., M. Fujita, A. Seiki, R. Shirooka, S. Yokoi, E. O. Cayanan, C. O. Iglesia and O. C. Cabrera, 2021: Evaluation of LMS6 and RS41 radiosonde humidity data obtained during YMC-Boreal Summer Monsoon study in 2018 and 2020. J. Meteor. Soc. Japan, DOI:10.2151/jmsj.2021-054.

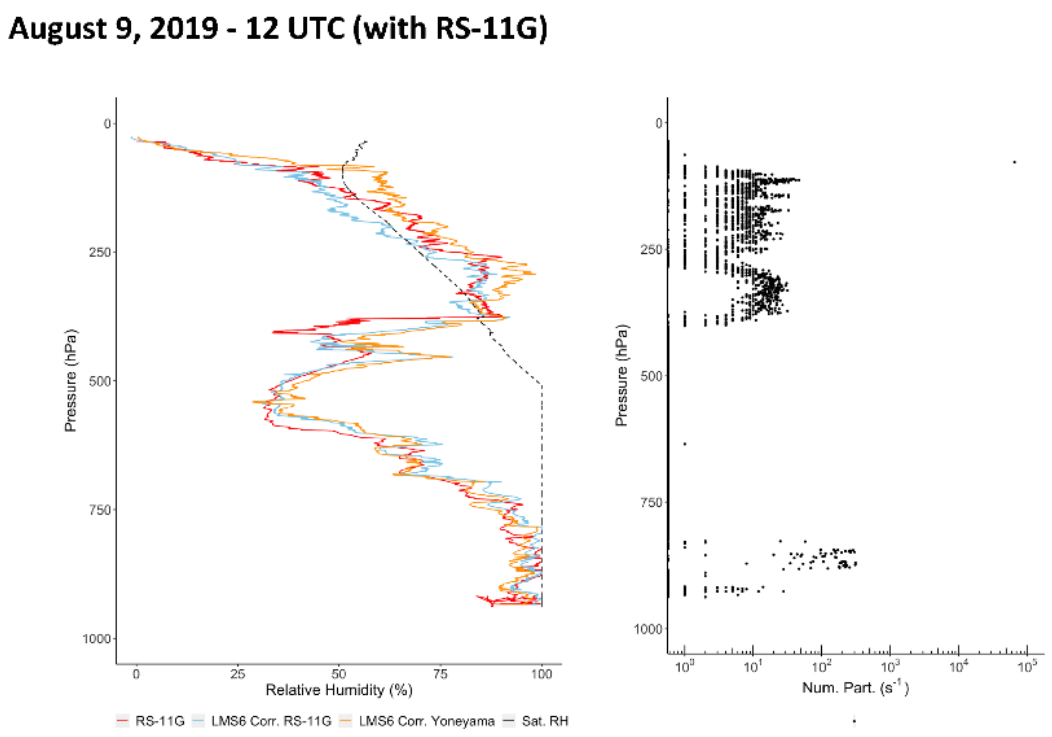


図 9. 2020 年 8 月 9 日 12Z の雲粒子ゾンデに付随したラジオゾンデ(RS-11)(赤線)、RS11 で補正したタナイ気象台のラジオゾンデ(LMS6)(青線)、Yoneyama et al.(2021)で補正したタナイ気象台のラジオゾンデ(LMS6)の相対湿度分布(オレンジ線)と飽和相対湿度(黒破線)(左図)。雲粒子数密度の鉛直分布(右図)。

(ii) 短時間予測技術の確立

マニラ首都圏に展開している P-POTEKA 搭載自動気象観測装置(POTEKA AWS)で得られた大量の降水データと機械学習の手法とを用いた、降水量・分布の直前予測性に関する基礎研究を進めた。地点降水量を等間隔のグリッドデータに変換し、ConvLSTM (Convolutional Long Short Term Memory)の手法を用いて、7 ヶ月分の降水データを機械学習させた。その学習を基に、過去 1 時間

分の観測データから 10 分間隔で 1 時間後までの降水量を予測した。2019 年 11 月 1 日 06:27UTC-06:47UTC の 10 分間の降水量の観測値と予測値の例を図 10 に示す。マニラ首都圏の南部に見られた降水を良く再現できている。ただこの手法では、過去 1 時間分のデータから 1 時間後まで 1 回の予測を行う場合、30 分先から 1 時間分の予測精度は低くなることから、この予測を 10 分毎に逐次行う事によって、精度改善することが必要であることも分かった。さらに、今回は降水データのみを学習させて予測したが、それに加えて風向・風速、気圧、湿度などのデータも併せて学習させて予測を行う事も実験してみる予定である。

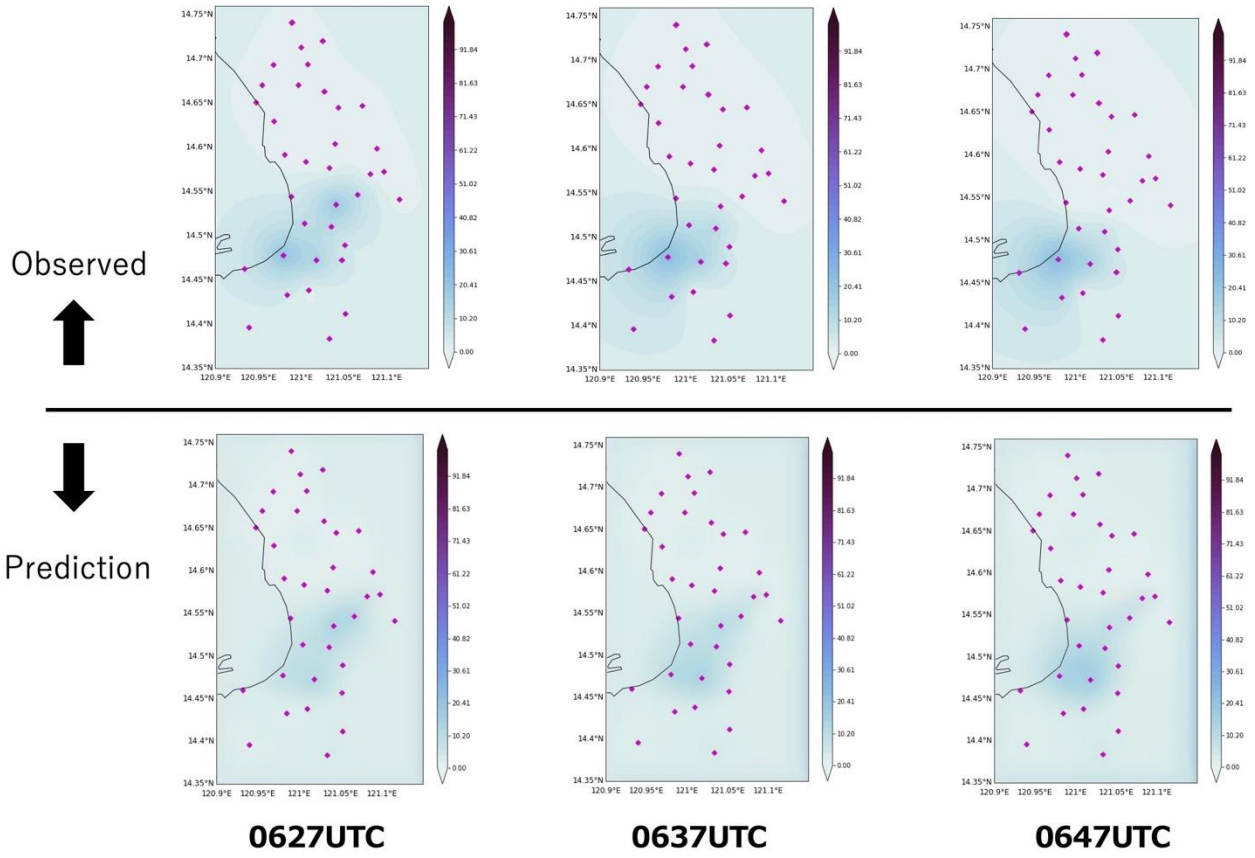


図 10. マニラ首都圏の P-POTEKA 観測点(紫色の点)の降水をもとにグリッド化した降水分布(水色コンター)。左から 2019 年 11 月 1 日 06:27, 06:37,06:47UTC の 10 分間降水量の観測値(上)と 1 時間前までの降水観測データと機械学習を用いて同時刻の 10 分間降水量を予測した結果(下)。なお、地図中の紫の点は 2000 年 12 月現在の P-POTEKA 設置点を示す。

② 研究題目３のカウンターパートへの技術移転の状況

集中観測で実施したラジオゾンデと雲粒子ゾンデを用いたデータ比較は積極的にカウンターパート側で解析が行われ、定期的に zoom で情報交換を行い、技術移転を進めている。機械学習については COVID-19 の影響で交流が滞ったため、日本側とカウンターパート側で別々に解析を行った。

③ 研究題目３の当初計画では想定されていなかった新たな展開

特になし

④ 研究題目３の研究のねらい

P-POTEKA, V-POTEKA による雷観測データと超小型人工衛星による積乱雲観測データに加え、積乱雲・台風のゾンデ集中観測を行い、それらのデータを統合し外挿的手法を用いた短時間予測技術を確立する。

⑤ 研究題目３の研究実施方法

短時間予測技術の確立に向けて、集中豪雨などをもたらす活発な積乱雲内部の気象データを得て鉛直構造を把握するため、ラジオゾンデと雲粒子ゾンデの集中観測キャンペーンを実施する。また、台風強度の短時間予測技術の確立に向けて、台風内部で発達する積乱雲をとらえるため、航空機を用いたドロップゾンデ観測をフィリピン海で行う。それらの結果と雷・衛星観測データを統合して、外挿的手法を用いて極端気象の短時間予測を行う手法を確立する。

(5) 研究題目４：情報提供システムの確立（リーダー：久保田尚之・北海道大学）

① 研究題目４の当初の計画（全体計画）に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

(i) 台風監視網の日々の雷放電位置を表示したウェブサイト作成

台風監視網のマニラ・パラオ・グアム・インドネシア・沖縄に設置した V-POTEKA データから雷放電の発生位置を計算し、台風の位置と合わせた図を表示するウェブサイト作成した(図 11)。

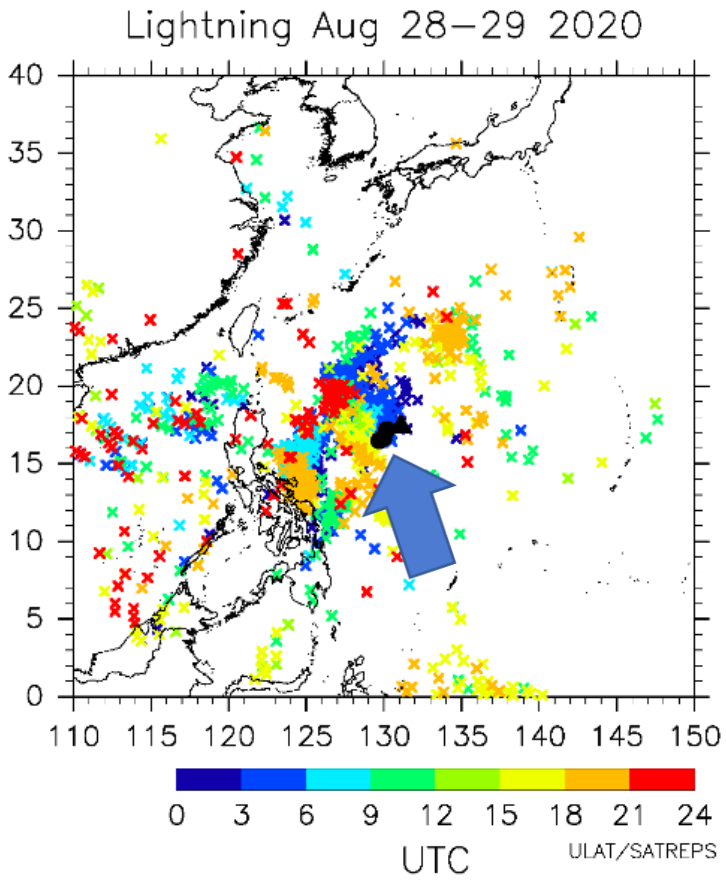


図 11. 2020 年 8 月 28 日一日分の雷放電の位置を×で表示。3 時間ごとに色分け。
熱帯低気圧(▲)、台風(●)の 6 時間ごとの位置を表示。

② 研究題目４のカウンターパートへの技術移転の状況

COVID-19 の影響で雷放電の位置を計算する手法の ASTI への技術移転は進んでいない。

③ 研究題目４の当初計画では想定されていなかった新たな展開

特になし。

④ 研究題目４の研究のねらい

集中豪雨や落雷地域の短時間予測に基づく、豪雨・落雷予想のマップ、台風強度の 24 時間前予測値を防災機関に公開するためのウエブサイトを作成する。さらに、フィリピン政府との協議の上で、試験運用の実施を検討する。

⑤ 研究題目４の研究実施方法

国内で短時間予測情報結果の情報を提供するソフトウェアを開発し、フィリピンに移植して試験運用を行う。さらに、試験運用の結果を受けて情報提供ソフトウェアを改修し予測精度の向上を図る。

Ⅱ．今後のプロジェクトの進め方、および成果達成の見通し（公開）

- 雷放電観測ネットワークの構築については、2019 年度末頃までは、ほぼ予定通りに進んできたが、COVID-19 の影響で、2020 年 3 月以降日本からの渡航ができなくなったため、十分な打ち合わせや新たな装置の持ち込み・組み込みが困難な状況となった。またフィリピン国内でも移動が禁じられたため、観測ネットワークの全ての拠点設置と新規装置の組み込みの時期が見通せない。しかしながら、すでに半数以上の拠点が稼働を開始していることから、技術検証と事実上社会実装に耐える十分な量のデータが取得できる体制が整っている。
- V-POTEKA データを用いた雷放電発生位置推定ソフトウェアは既に完成しており、今後はそれを 1 時間毎に自動で実行させ地図上に描いた雷放電分布を Web ページで公開する部分を整備する。さらに、雷放電数から経験式を用いて予測した台風強度発達も Web ページで公開する部分を整備する。
- 集中観測で実施したラジオゾンデと雲粒子ゾンデを用いたデータ比較は、コロナ発生前から定期的にフィリピン大学との間でオンラインでの情報交換を行っていたおかげで、解析が進んでいる。一方で ASTI との間では COVID-19 の影響で交流が滞ったため、短時間予測技術の確立に向けて必要な機械学習については日本側と ASTI 側で別々に解析を行ってきた。今後は短期研修などの機会を設けて情報共有し、技術移転を進める予定である。
- 情報提供システムの確立についても、COVID-19 の影響で雷放電の位置を計算する手法を ASTI への技術移転が進んでいない。こちらも今後短期研修を通して ASTI がリアルタイムの雷放電の位置を表示するウェブサイト作成する計画である。

Ⅲ．国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

(1) プロジェクト全体

- カウンターパートの ASTI のプロジェクトメンバーは非常にマネージメント能力が高く、雷放電・気象観測装置のフィリピン国内への展開と取得データの管理は着実に進行している。ASTI

のメンバーとは、月に一度の TV 会議を通じて進行状況などの情報を共有しており、概ねスケジュール通りに進んでいる。

- 2020 年 3 月以降、新型コロナウイルス感染拡大の影響からスケジュール全体に遅延が生じている。フィリピン側メンバーが職場に行くことが禁止されることもあり、その結果、装置の設置、メンテナンス、衛星運用など自宅でできない作業に影響が出ており、当面データ解析に集中している。
- 衛星の基本的な運用、ターゲットポンティングによる連写は、フィリピン側（ASTI）が 0.2 度程度の高精度姿勢制御を実現するなど順調に技術が向上している。指導は主にメールやテレビ会議を用いたリモートで行われており、成果を上げている。

(2) 研究題目１：「雷放電の稠密観測・Nation-Wide 観測」（リーダー：高橋幸弘・北海道大学）

カウンターパートの ASTI のプロジェクトメンバーは非常にマネージメント能力が高く、P-POTEKA と V-POTEKA のフィリピン国内への展開と取得データの管理を自力で着実に実行している。2020 年度は、新型コロナウイルスの影響もあって ASTI のメンバーと定例の会議を行うことは困難であったが、観測機器の運用状況や現在抱える課題などについて電子メールによる情報共有と課題解決を図った。研究題目 1 について、新型コロナウイルス感染拡大の影響から若干のスケジュール遅延が生じているが、活動再開後速やかに今後の方針を TV 会議やオンライントレーニング等を通じて協議することとする。

(3) 研究題目２：「人工衛星による高精度雲観測」（リーダー：吉田和哉・東北大学）

衛星の基本的な運用、ターゲットポンティングによる連写は、フィリピン側（ASTI）が 0.2 度程度の高精度姿勢制御を実現し、望遠カメラでターゲットを捉えるレベルに達している。しかし 2020 年度は、コロナの影響でフィリピン側メンバーが衛星運用室に行くことが禁止されることもあり、その結果、雲撮像のチャンスが非常に限られた。衛星地上連携観測を予定していた日本側にも影響が出ており、数少ない同時観測の機会を生かすとともに、データ解析に集中することで、3D 画像処理で成果を上げた。

(4) 研究題目３：「外挿的手法を用いた短時間予測技術の確立」（リーダー：松本淳・東京都立大学）

これまで取得してきたラジオゾンデ観測と雲粒子ゾンデ観測を用いて、短時間予測技術の確立に向けて積乱雲が発達するのに必要な環境の場をフィリピン大学では、自らデータ比較し、解析を進めている。また、降水データを入力して機械学習を行い、降水の短期予測する解析も ASTI が独自に進めている。フィリピン側の解析スキルは高く、今後は短期研修を通して情報共有することによって、さらなる発展が期待できる。

(5) 研究題目４：「情報提供システムの確立」（リーダー：久保田尚之・北海道大学）

COVID-19 の影響で雷放電の位置を計算する手法を ASTI へ技術移転が行えなかった。その中でも ASTI は限られた情報から雷位置や頻度に関する解析を進めていた。今後は短期研修を通してリアルタイムの雷放電の位置を表示するプログラムを習得し、情報共有するシステムを開発していくと期待さ

れる。

Ⅳ．社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

(1)成果展開事例

該当なし

(2)社会実装に向けた取り組み

該当なし

Ⅴ．日本のプレゼンスの向上（公開）

- 衛星画像から雲の 3D モデルを作成する手法について報告した論文が Scientific Reports に掲載された（2020 年 5 月）。
- フィリピンの DIWATA-1 衛星と同等の機能を有するミャンマー超小型衛星 1 号機を、国際宇宙ステーションから放出し、初期運用を開始した（2021 年 3 月）。

Ⅵ．成果発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）

Ⅶ．投入実績【研究開始～現在の全期間】（非公開）

Ⅷ．その他（非公開）

以上

Ⅵ. 成果発表等

（1）論文発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）

①原著論文（相手国側研究チームとの共著）

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ－おわりのページ	DOIコード	国内誌/国際誌の別	発表済/in press/acceptedの別	特記事項（分野トップレベル雑誌への掲載など、特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。）
2017	Kubota, H., R. Shirooka, J. Matsumoto, E. O. Cayanan, and F. D. Hilario, 2017: Tropical cyclone influence on the long-term variability of Philippine summer monsoon onset, Prog. Earth. Planet. Sci.	10.1186/s40645-017-0138-5.	国際誌	発表済	
2018	Olaguera, L.M., Matsumoto, J. Kubota, H., Inoue, T., Cayanan, E.O. and Hilario, F.D., 2018.Abrupt climate shift in the mature rainy season of the Philippines in the mid-1990s. Atmosphere 9: 350.	10.3390/atmos9090350	国際誌	発表済	
2018	Olaguera, L.M., Matsumoto, J., Kubota, H., Inoue, T., Cayanan, E.O. and Hilario, F.D. 2018. Interdecadal shifts in the winter monsoon rainfall of the Philippines. Atmosphere 9: 464.	10.3390/atmos9120464	国際誌	発表済	
2018	Akasaka, I, H. Kubota, J. Matsumoto, E. O. Cayanan, R.D. Guzman, F. D. Hiralio, 2018: Seasonal march patterns of the summer rainy season in the Philippines and their long-term variability since the late 20th century, Prog. Earth. Planet. Sci.,	10.1186/s40645-018-0178-5	国際誌	発表済	
2020	Castro, E., T. Ishida, Y. Takahashi, H. Kubota, G. J. Perez and J. S. Marciano, 2020: Determination of cloud-top height through three-dimensional cloud reconstruction using DIWATA-1 data, Sci Rep 10, 7570	https://doi.org/10.1038/s41598-020-64274-z	国際誌	発表済	
2020	Olaguera, L. M., J. Matsumoto, H. Kubota, E. O. Cayanan and F. D. Hilario, 2021: A climatological analysis of the monsoon break following the summer monsoon onset over Luzon Island, Philippines, Int. J. Climatol., 41, 2100-2117	https://doi.org/10.1002/joc.6949	国際誌	発表済	

論文数	6	件
うち国内誌	0	件
うち国際誌	6	件
公開すべきでない論文	0	件

②原著論文（上記①以外）

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ－おわりのページ	DOIコード	国内誌/国際誌の別	発表済/in press/acceptedの別	特記事項（分野トップレベル雑誌への掲載など、特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。）
2017	山下幸三, 久保埜雄貴, 濱田純一, 高橋幸弘, 松本淳, 渡辺聡, 積乱雲監視を目的としたELF-VLF 帯電磁界計測に基づいた雷観測システムの簡易化の検討, システム制御情報学会論文誌, Vol.30, No.11, pp.420-426, 2017	https://doi.org/10.5687/iscie.30.420	国内誌	発表済	
2017	Kurihara, J., Takahashi, Y., Sakamoto, Y., Kuwahara, T., Yoshida, K., HPT: A High Spatial Resolution Multispectral Sensor for Microsatellite Remote Sensing, Sensors, 18, 619, 2018.	DOI:10.3390/s18020619	国際誌	発表済	
2018	Kubota, H., 2018: Comparison of tropical cyclones Haiyan and Talas with tropical cyclones having similar tracks in the past 120 years, Journal of Geography (Chigaku Zasshi), 127, 471-482.	doi.org/10.5026/jgeography.127.471	国際誌	発表済	
2019	Matsumoto, J., L. M. Olaguera, D. Nguyen-Le, H. Kubota, and M. Q. Villafuerte II, 2020: Climatological seasonal changes of wind and rainfall in the Philippines, Int. J. Climatol., 1-15.	10.1002/joc.6492	国際誌	発表済	
2019	Olaguera, L.M., Matsumoto, J., Julie Mae B. Dado, and Gemma Teresa T. Narisma,"Non-tropical cyclone related winter heavy rainfall events over the Philippines: climatology and mechanisms",Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences,2019.11,--,pp.-	10.1007/s13143-019-00165-2	国際誌	発表済	
2019	Olaguera, L.M., and Matsumoto, J.,"A climatological study of the wet and dry conditions in the pre-summer monsoon season of the Philippines",International Journal of Climatology,2019.12,--,pp.-	10.1002/joc.6452	国際誌	発表済	
2019	Matsumoto, J., Olaguera, L.M., Nguyen-Le, D., Kubota, H., and Villafuerte II, M.Q.,"Climatological seasonal changes of wind and rainfall in the Philippines",International Journal of Climatology,2020.01,--,pp.-	10.1002/joc.6492	国際誌	発表済	
2020	Matsumoto, J., L. M. Olaguera, D. Nguyen-Le, H. Kubota, and M. Q. Villafuerte II, 2020: Climatological seasonal changes of wind and rainfall in the Philippines, Int. J. Climatol., 40, 4843-4857	10.1002/joc.6492	国際誌	発表済	
2020	Hilario M. R. A., Olaguera, L. M., Narisma, G. T. and Matsumoto, J. 2020: Diurnal characteristics of summer precipitation over Luzon Island, Philippines. Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences.	10.1007/s13143-020-00214-1	国際誌	発表済	

論文数	9	件
うち国内誌	1	件
うち国際誌	8	件
公開すべきでない論文	0	件

③その他の著作物（相手国側研究チームとの共著）（総説、書籍など）

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
	該当なし				

著作物数 0 件
公開すべきでない著作物 0 件

④その他の著作物（上記③以外）（総説、書籍など）

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ－おわりのページ		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
2017	久保田尚之, 2017: 台風からさぐる気候変動, 気候変動の事典, 山川修治・常盤勝美・渡来靖 編, 朝倉書店, 190-193.		書籍	発表済	
2018	松本　淳 2018. 東南アジアの気候学から防災に挑む. 学術の動向 23(7): 20—23		総説	発表済	
2020	Purwadi, Relationship between lightning and activities of the thunderstorm, typhoon, and volcano, Doctor thesis, Hokkaido University		博士論文	発表済	
2020	菅野 将史, トウィーク空電および静電場観測に基づく雷放電の3次元位置と中和電荷量の新推定方法に関する研究, 修士論文, 千葉大学		修士論文	発表済	
2020	野田 明羅, 機械学習を用いた降雨の直前予測, 卒業論文, 北海道大学		卒業論文	発表済	

著作物数 5 件
公開すべきでない著作物 0 件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要（コース目的、対象、参加資格等）、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項
	該当なし		

研究課題名	フィリピンにおける極端気象の監視・情報提供システムの開発
研究代表者名（所属機関）	高橋　幸弘 (北海道大学 大学院理学研究院)
研究期間	2016年6月1日～2023年3月31日
相手国名／主要相手国研究機関	フィリピン先端科学技術研究所(ASTI/DOST), フィリピン大学ディリマン校(UPD)

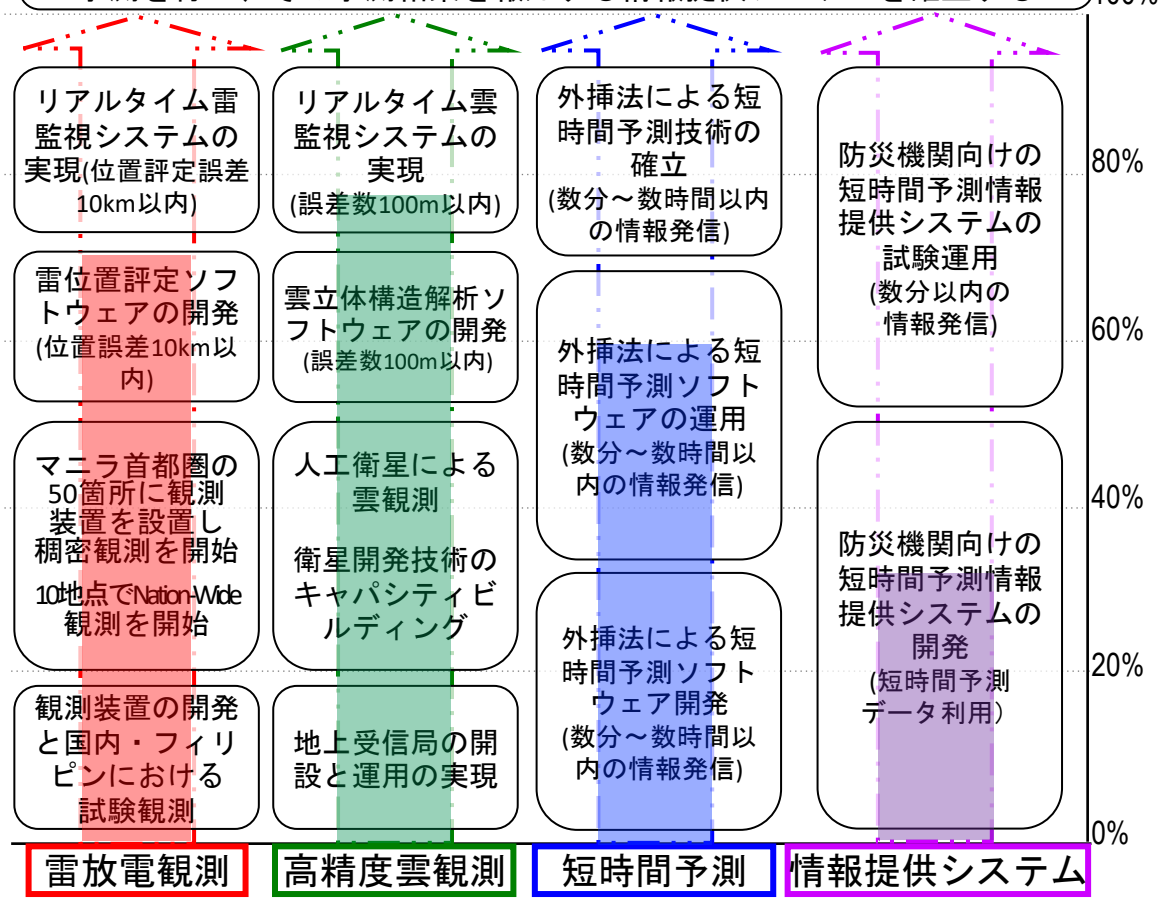
付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	• アジア防災圏の確立 • フィリピンを初めとするアジア圏での宇宙利用を日本がリード • 効果的なインフラ整備への貢献
科学技術の発展	• 日本の減災に開発技術と知見をフィードバック • 気候変動への知見獲得
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	• リアルタイム雷観測システム • 人工衛星を利用した雲監視システム • 外挿的手法を用いた短時間予測技術の確立
世界で活躍できる日本人人材の育成	• アジア圏での宇宙開発，極端気象観測・予測をリードする若手人材の育成
技術及び人的ネットワークの構築	• アジア防災圏の確立 • 衛星開発技術のキャパシティビルディング
成果物（提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど）	• リアルタイム雷観測情報提供システム • 衛星を利用した雲監視システム • 極端気象に対する外挿的手法を用いた短時間予測手法の確立

上位目標

フィリピンをハブとしたアジア防災圏の確立
人間生活と社会基盤が極端気象現象によって被る災害を軽減する

フィリピンの主要都市部への稠密観測システムの展開および安定運用と、自国衛星による雲監視技術の獲得、および社会実装の手法確立

プロジェクト目標

マニラ首都圏における極端気象に対し、雷放電の稠密・Nation-Wide観測と人工衛星による高精度雲観測から外挿的手法を用いた短時間予測を行い、その予測結果を報知する情報提供システムを確立する