NICTとの共同研究による赤道電離圏観測の経緯

国立研究開発法人情報通信研究機構　宇宙環境研究室長　石井（いしい）　守（まもる）

2020年1月17日、タイ王国KMITLチュンポンキャンパスにおいて、情報通信研究機構（NICT）との共同研究の下に電離圏観測用VHFレーダが設置され、オープニングセレモニーが開かれた。式典にはKMITL副学長（チュンポンキャンパス担当）のDr. Wattanachai Pongnak、NICTの徳田英幸理事長、Wiboon Rattanapornwongチュンポン市長ほか多くの来賓に参加いただき、新たな観測装置の誕生を祝った*1（図1、2）。

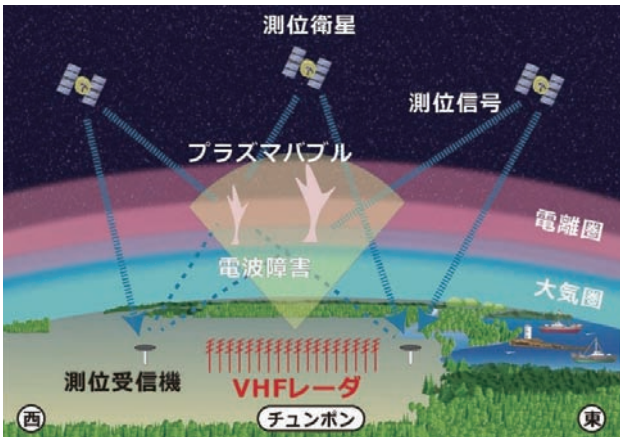
本VHFレーダは赤道域電離圏に発生する乱れの一つである“プラズマバブル”を主に監視することを目的に設置された。プラズマバブルは、高度60～1000kmにある帯電した大気である電離圏の中に発生する“泡”状の構造であり、その内部は周辺に比べて電子密度が低くなる。この現象は特に、衛星測位の精度を著しく低下させることが知られており、プラズマバブルの中を測位信号が通過すると伝搬遅延がモデルと異なるために誤差が増大するほか、シンチレーションによるロック損失が生じ安定した受信ができなくなるなどの現象が発生する。

■図1．KMITLチュンポンキャンパスに設置されたVHFレーダ

■図2．2020年1月17日に開催されたVHFレーダ開所式

その一方で、タイを含む東南アジアは、準天頂衛星をはじめとする測位衛星が世界で最も多く利用可能な地域でもあり、このプラズマバブルの影響を除くことで高精度測位による農業や建築、土木などへの利用が期待される。現在、NICTはこのような高精度測位への寄与を目指し、KMITLほか東南アジアの研究者と共にプラズマバブルの研究及び監視網を構築している（図3）。

NICT宇宙環境研究室（以下、当研究室）は、宇宙天気予報の配信を24時間体制で休日を含め毎日行うとともに、その予報精度の向上を研究テーマとして活動している。宇宙天気とは、主に太陽活動とそれに伴う宇宙環境の変動が我々の生活に与える影響である。太陽は生命の維持に必要な熱や光と共に、生命にとって危険なX線・紫外線などの電磁波、電子や陽子などの高エネルギー粒子、またコロナガスと呼ばれる高温の電気を帯びたガスを放出する。



■図3．VHFレーダを用いたプラズマバブル観測のイメージ

*1　https://www.nict.go.jp/press/2020/01/16-1.html

地球はそれに対して大気と磁場という2つの防護壁を持っている。大気は太陽から来る有害な電磁波を受け止め地上に到達するのを防ぎ、その結果光化学反応により上部が電離し、前述の電離圏と呼ばれる領域が形成される。磁場はコロナガスが地球近傍に到達するのを防ぐ役割をする。しかしながら、磁場は完全な防護壁ではなく、コロナガスが地球に対して南向きの磁場を持つときには地球磁場と再結合を起こしそのエネルギーが地球近傍まで到達する。この時には、前述した衛星測位精度の劣化に加え、短波通信・放送の劣化、人工衛星の帯電・被ばく、航空機及び宇宙空間での人体被ばくなどが生じる。さらに、太陽活動が活発な時には、地球の高緯度地方を中心に自然由来の誘導電流が発生し、送電網にその電流が入ることで大規模停電を引き起こした例もある。このように、宇宙天気に起因する自然災害は、発生確率は低いものの、一度発生すると大規模な経済的なインパクトを引き起こす可能性があり、近年各国がその対策を取り始めている*2。また、国際機関では、国連の専門機関である国際民間航空機関（International Civil Aviation Organization：ICAO）が民間航空運用に宇宙天気情報を用いるためのサービスを2019年11月に開始した*3。

当研究室の赤道域電離圏観測は、2003年に始まった。当時はGPSによる衛星測位が普及し始めた時期であり、特に我が国ではMSAS、米国ではWAASと呼ばれるGPSを利用した航空運用システムが検討され始めた時期でもある。また、2周波GPS受信機のデータを用いて測位衛星と受信機間の全電子数を求めることにより、これまで疎な観測のみであった電離圏の水平構造を詳細に観測できることが分かり、関連研究が飛躍的に進み始めた時期でもある。

当時、当研究室の前身の一つである通信総合研究所電離圏・超高層グループの丸山隆グループリーダーは、タイ・チェンマイ大学及びKMITLと協力し、チェンマイ及びチュンポンにイオノゾンデを設置、さらにインドネシア・LAPAN、京都大学との協力の下にインドネシア・コトタバンにも同装置を設置し、プラズマバブルによって生じるスプレッドFの地上ネットワーク観測を開始した*4。その後、ベトナム、フィリピンなどにも観測拠点を広げ、赤道電離圏観測においては世界でも希少な基盤“SEALION（South-East Asia Low Latitude Ionosphere Network）”が構築された。

東南アジア域でのプラズマバブルは、春または秋の日没後に多く発生する。磁気赤道（地球の磁場を基準として定められる赤道）を挟んで南北に対称に成長し、その後東方向に移動していく。この発達を磁気赤道に近いチュンポン及び南北に対称の位置にあるチェンマイ、コトタバンで観測することが可能であり、プラズマバブルの発生メカニズムに関する多くの成果が本プロジェクトで得られた*5。また科学的成果のみならず、現地の協力研究機関への技術供与を経て、電離圏監視・予測を中心とする「宇宙天気」研究の拠点形成にも寄与してきた。2015年にはインドネシア・LAPANが宇宙天気予報の国際コンソーシアムである“International Space Environment Services（ISES）”*6のメンバーとして認められた。

タイにおいては、NICTの“ASEAN IVO”プロジェクト*7の下、KMITLのProf. Pornchai Supnithiがリーダーとなり、タイ、ラオス及びミャンマーの研究機関と共に赤道域における航空運用に資する衛星測位及び電離圏研究プロジェクト*8を構築し活動を始めた。また現在、宇宙機関GISTDAを中心に宇宙天気監視のための国内コンソーシアムを構築する活動が進められており、KMITLもその主要メンバーとして活動することが期待されている。近い将来、タイ宇宙天気コンソーシアムが宇宙天気予報を配信する日も近いと期待される。

＊2　例えば、https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/06/Space-Weather-Phase-1-Benchmarks-Report.pdf
＊3　https://www.nict.go.jp/press/2019/11/07-2.html
＊4　丸山隆、宇宙天気予報特集I―宇宙天気諸現象の研究―電離圏・熱圏／電離圏不規則構造、通信総合研究所季報、Vol.48 No. 3, 2002 http://www.nict.go.jp/publication/shuppan/kihou-journal/kihou-vol48no3/0401.pdf
＊5　例えば、Saito, S. and T. Maruyama, “Ionospheric height variations observed by ionosondes along magnetic meridian and plasma bubble onsets”, Ann. Geophys., Vol.24, pp.2991-2996, 2006.
＊6　http://www.spaceweather.org/index.jsp
＊7　https://www.nict.go.jp/en/asean_ivo/index.html
＊8　https://www.nict.go.jp/en/asean_ivo/ASEAN_IVO_2019_Projects05.html