

地域防災/減災へ向けたインフラサウンド研究室の取り組み

山本 真行^{1*} 齊藤 大晶¹ 甲斐 芳郎¹

菊池 豊¹ 柿並 義宏^{1,2} 横田 昭寛^{1,3}

(受領日：2019年6月13日)

¹ 高知工科大学 総合研究所 インフラサウンド研究室
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

² 北海道情報大学
〒069-8585 北海道江別市西野幌59-2

³ 株式会社サヤ／株式会社レソナアレス
〒273-0035 千葉県船橋市本中山4-1-2-206

* E-mail: yamamoto.masa-yuki@kochi-tech.ac.jp

要約：インフラサウンドとは超低周波音とも呼ばれ、人間の可聴周波数の下限である周波数20Hz以下の聞こえない音波を指す。音波の物理的性質は空気を媒質とした粗密波（縦波）の振動であり、ヒトが感知できない微小な圧力振動がインフラサウンド帯域でも人知れず地球大気中で発生し音速で伝搬している。高知工科大学工学部電子・光システム工学科（当時）では2005年頃よりインフラサウンドの研究に着手し、同システム工学群の1研究室（現：宇宙地球探査システム研究室）として当該研究を進めてきたが、2017年4月に同総合研究所内にインフラサウンド研究室（重点研究室）の整備が認められ、著者らは「インフラサウンド研究室」の看板を本学に掲げることとなった。重点研究室の意図は、国内の他大学に存在しないユニークな研究室を置くことで、当該研究領域の研究拠点を本学に創出し、関連研究者が集い研究連携を加速させる点にある。インフラサウンドの発生源は、人工的な爆発に加え、地球物理学的な自然現象が主体のため、その観測網を作り本格活用できれば災害の要因となるような現象を遠隔で捉えその規模などの情報を得ることで防災・減災への貢献が期待される。高知県沿岸では、南海トラフ地震等による津波被害が想定されており長期的な視点での防災研究の蓄積が必要である。私たちは、災害を生むような地球物理学現象への知見の蓄積に加えて、インフラサウンドを計測し情報を地域社会に必要時に着実に伝達する工学的技術の集積が必要と考えており、本研究室ではこれを推進している。本稿では、本学におけるインフラサウンド研究の現状について報告する。

1. はじめに

インフラサウンド（超低周波音）の存在自体は古くから知られており、日本でも約1世紀の研究史を有す。しかし、人が感知できないが故にその社会認識は非常に限られており、音響学の研究者でさえも知らない場合がある。同じくヒトが感知できない周波数領域の音波としては可聴域上限（20kHz）を超える超音波があるが、これは衝突防止センサーや交通システムにおける渋滞監視センサーなどで活躍

してきた。超音波は波長が短く、近接センサーとしての活用が容易なためである。

一方、可聴域下限（20Hz）を下回るインフラサウンドの波長はキロメートルのスケールとなるため、巨大な物体が動くなどの事象でしか発生しえない。もし急激なインフラサウンドの変化が検出されれば、周辺で何か大きい物体（面）が動いたことを示唆する。上述のこの理解には、楽器と演奏される音楽との関係がアナロジーとなる。例えば同じ弦

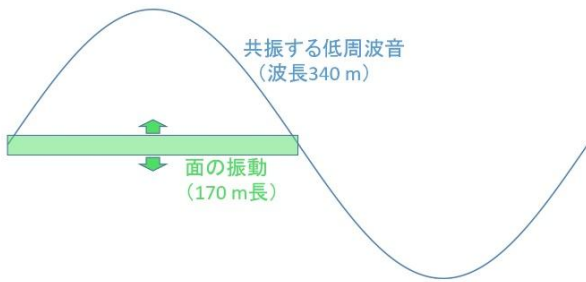


図1. 大きい面の振動と共振する低周波音との関係

楽器でも、小さいバイオリン（弦長約 33 cm）が奏でる音は高音であり、大きいコントラバス（弦長約 102 cm）が奏でる音は低音となる。

もう少し数値を使って説明すれば、気温を 15℃として音速が 340m/s で一定であると仮定すれば、周波数 1Hz の音波の波長は 340m となる。このとき半波長 170m のスケールが、この 1Hz の周波数の音と効率的に共振（共鳴）でき、これを基本波と呼ぶ（図??）。

弦楽器や管楽器、あるいはヒトの声帯を使った発声の場合がそうであるように音楽の演奏（音波の発生）では基本的にこの共鳴現象が音を奏でており、同時に、高調波といって周波数が基本波の定数倍となる波も発生し、人の耳には心地良い音楽となる。共鳴は自然の道理（共通の物理）であるため、私たちが耳にできないインフラサウンドでもこれが起きていると推察可能である。

例えば、身近に起きる音波として雷鳴を考えよう。雷は地球大気中で発生するキロメートル・スケールの現象である。仮に 1.7km の経路長で稲妻（絶縁破壊）が見られれば、さきほどのアナロジーで、同時に波長 3.4km の音波、即ち周波数 0.1 Hz のインフラサウンドが発生したと推測できる。津波の場合には、海底地震に伴う海底の急激な隆起（または沈降）が齎す海面変動が起源となるが、このスケールは巨大地震の場合には 100 km の桁となる。仮に雷事例の 100 倍の 170 km のサイズで隆起されれば、波長 340km、周波数 0.001 Hz の共鳴波およびその高調波が生じることとなる（詳細には、周波数およそ 0.003 Hz 以下の波動では地球の重力による影響を受けるため大気重力波という専門用語で呼ばれている）。

次にインフラサウンドを含む音波の伝搬を考えると、音波は空気中を伝わるため、その性質として空気の粘性（粘り気）による減衰という要素がある



図2. インフラサウンド波源として想定されるイベント

が、これは周波数の 2 乗に反比例することが知られている。つまり雷鳴の音波であれば雷の規模が巨大なほど遠方まで伝わり、津波のインフラサウンドは予想を遥かに超えるような遠距離まで伝搬できる性質を有す。例えば東日本大震災の津波起因の波動は地球を半周してアラスカ、ヨーロッパ、南極等で計測された。?)

災害を生むような地球物理学的イベント（事象）のうち、雷鳴は比較的小規模なイベント、津波は地球上でほぼ最大規模のイベントと言えるため、周波数 0.001 Hz から 100 Hz 程度の帯域を高精度に計測する手法を持てば、大小さまざまな地球物理的イベントはインフラサウンドを使って遠隔検知できる。想定される主な波源（検知可能な対象）をアイコン的に示したのが図??である。私たちは東日本大震災の発生以前から 10 年ほどかけてインフラサウンドを効果的に検出する手法の開発を進め、その防災・減災への活用を目指した基礎研究を進めてきた。?)

2. インフラサウンドの活用事例

インフラサウンドの検知が防災活用されてきた事例としては火山周辺における空振の計測があり、気象庁や研究機関が国内の活火山のうち活動的な火口の付近に設置し日々モニタリングを行っていて、例えば 5 段階の噴火警戒レベルを決定する際の 1 つの指標となっている。しかし空振観測と同等性能のセンサーでは津波起因の超低周波数のインフラサウンド（および大気重力波）までは検知が困難である。

他の活用事例として、国際核実験検知網（CTBTO）による観測がある。地震や放射線核種のモニタリングと組み合わせ、地下から大気中までの可能性のある核実験を遠隔検知する仕組みであり、包括的核実験禁止条約のために国際的に運用されている。CTBTO のインフラサウンド（IS）観測で使われているセンサー群は津波の検知にも活躍できる高性能なものであるが非常に高価なために国内には IS30（千葉県いすみ市）の 1 観測点（センサー 6 台によるアレイ観測）しかなく、多くの場所に設置するに



図3. 複合型インフラサウンドセンサー

は価格的な問題がある。

以上の状況から、私たちは2006年頃からセンサーの基礎開発に着手した。2011年3月の東日本大震災には間に合わなかったが、2015年2月には国産のインフラサウンドセンサーの製品化に成功し、これまで国内観測点の整備に活用してきた。開発したセンサーではインフラサウンドによる微小な音圧変化（微気圧変化）により変動する膜面の動きを電気信号に変換する手法を採用した。さらに最近ではスマートフォンにも内蔵されている微小な振動（加速度）センサー等のMEMSと呼ばれる超小型センサーを組み合わせることで、複合型センサーとして製品化を行った。最新版のAD XIII-INF01LEの外観を図??に示す。

一方で、海外産センサーのうち比較的lowコストなものを用いた理学的研究も2005年以降に進めてきた。国内では桜島火山の噴火やロケットの打ち上げによる人工音の検出などをターゲットにした臨時実験を繰り返し、2008年には南極昭和基地にChaparral Physics製のセンサー1台を設置、2012年には昭和基地周辺のリュツォ・ホルム湾沿岸域に計7箇所まで観測点を拡充した。南極では氷震の活動状況を把握することで地球温暖化の新たな計測指標となり得ると考え、長期のモニタリング観測を見据えた研究を継続している。^{?)}

一方、2010年6月にはJAXA「はやぶさ」探査機の地球帰還（リエントリ）に際し、オーストラリア・ウーメラ砂漠に地震計とインフラサウンドセンサーを配置して、大気圏突入カプセルと母船のリエント

リによる衝撃波の多地点観測に成功、その位置や規模の推定とインフラサウンドが励振する地震波における変換効率の検定等に活用された。^{?)}

3. 津波検出のためのインフラサウンド面的観測網

私たちは、陸域にインフラサウンドセンサーを配置することで密な面的観測網を効果的に構築できれば、津波の到来前にその波源位置や規模の概略推定が可能であり津波警報の高精度化に繋がると考えている。津波情報の把握方法には、沖合の海上にブイを浮かべたGPS波浪計（津波計）や、海底地震計と組み合わせた海底水圧計（DONETなど）、および水平線レーダー（津波レーダー）等の既存技術が存在し、特に海底地震・水圧計の敷設は東日本大震災以降に急ピッチで進められてきた。しかし海上や海底に敷設し長期運用をしなければならないシステムは、設置や維持のコストが膨大となる。

これに対して、インフラサウンドの面的観測網は、大気中の音波伝搬特性を活用して陸域から遠隔で津波起因の波動を検知できる特徴を有しており、直接計測できる波浪計や水圧計に対して間接計測となるデメリットもあるが、設置およびメンテナンスのコストを効果的に圧縮できるメリットは大きい。

現在、私たちが把握できている範囲の科学では、残念ながら地震や津波自体の予知はほぼ不可能であるが、例えば南海トラフ域の大地震の際には、以下のような流れでのインフラサウンド観測の活用が想定できる。

- 1) 地震発生、2) 地震波P波（初期微動）の到達、3) 緊急地震速報の鳴動、4) 地震波S波（主要動）の到達による大きな揺れ、5) 地震の収束（数分後）と1次避難地への避難開始、6) 津波警報の周知（気象庁：約3分後）、7) インフラサウンドの沿岸への到達と観測、8) インフラサウンド面的観測データを用いた津波規模の推定、9) 津波の高精度情報の1次避難地等への伝達と自治体等の初動対応への寄与、10) 規模情報を踏まえた1次避難地から先への避難、11) 実際の津波の襲来。

このとき音速と実際の津波の速度の関係について考えると、音速は温度や風向きにも多少は依存するが、発生源からほぼ一定の約340m/s（気温15℃で1気圧の大気中の場合）である。一方、海の波の進行速度は海の深さの平方根に比例するため、深い海では速く音速とさほど変わらないが、陸に近づくにつれ浅くなる海底地形に応じて急激に遅くなる。結果として後ろの波が追い付き襲来する津波の波

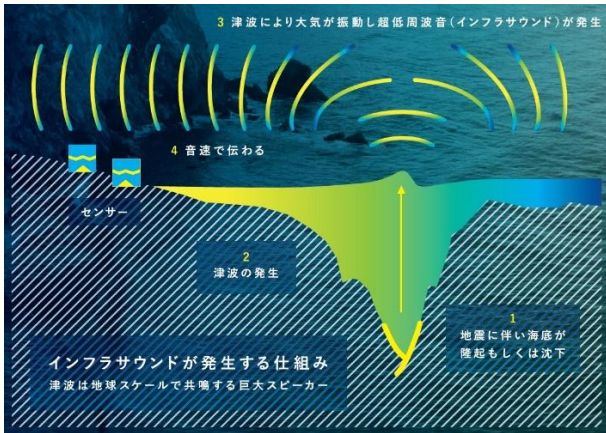


図4. 津波によるインフラサウンドの発生と伝搬

高が高くなるが、南海トラフから太平洋沿岸域までの全体を考えれば、インフラサウンドは実際の津波の2~3倍の速さで情報を伝達できる。例えば地震発生後30分で津波の到達が予想される地域においては、発生後10~15分でインフラサウンドセンサーに津波規模を示唆する情報が現れ始めると期待されるのである(図??)。

私たちは、以上のスキームを想定したインフラサウンド面的観測網の構築を提唱し、2016年度にセコム科学技術振興財団より大型の研究助成に採択されたことを受け、南海トラフ3連動地震の政府想定で最大34mの津波被害が予測されている高知県黒潮町にて、上述したインフラサウンドセンサーを用いた多地点観測網の構築を開始した。

2016年8月に同町内に5地点を設置、2017年11月には高知県内にて計15地点まで観測網を拡充し、高知県内において全国初の都道府県規模でのインフラサウンド面的観測網を確立した。黒潮町では1辺2kmおよび8kmの三角形アレイを構成、高知県内では室戸岬と足摺岬の付近に1辺25kmの大アレイを構成した(図??)。

多地点アレイ観測では、各三角形の頂点へのインフラサウンドの到来時刻の差から到来方向や波源位置の推定を行うことができるが、津波のような波長の大きい(周期の長い)波に対しては25kmスケールの大アレイが必要となる。一方で地域的な雷活動や土砂災害によるインフラサウンドの計測では、数kmスケール程度のアレイが重要な役割を果たすと考えている。

これらのセンサー群の防災情報集約に向けた連続運用を実証試験的に行うとともに、約2年間のデータ収集を進める過程で様々な地球物理学的イベントの多地点での同時検出にも成功し、また各観測地点

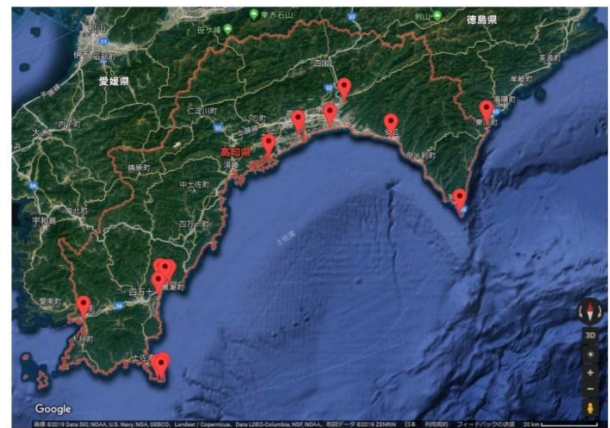


図5. 高知県内における面的観測網の整備状況(2019年3月現在、地図はGoogle Earthによる)

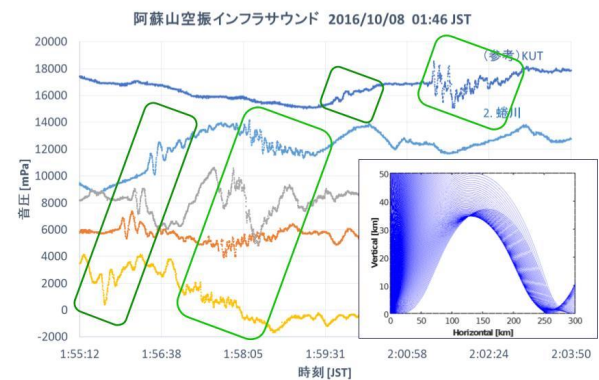


図6. 阿蘇山噴火のインフラサウンド計測事例

固有のノイズレベルの調査にも一定の成果を得た。

具体的な事例をいくつか紹介すると、2016年10月8日に起きた阿蘇山中岳の噴火では、高知県黒潮町の4台と高知工科大学の1台の計5地点のセンサーで特徴的なインフラサウンド波形を検出した(図??)。

図??の緑色点線で囲まれた波群のうち、左側の波群は大気中をほぼ水平に伝搬してきた成分、右側は成層圏まで到達して回折してきた成分であることが、大気中の音波伝搬に関する数値シミュレーション(右下)との比較で確認できる。現在は齊藤を中心に、対流圏内(地表付近)を伝搬してきた波群と上空の成層圏を伝搬してきた後続する波群について、理論的な検定を進めており、上空の風速場や温度場の影響等を加味した精密な数値シミュレーションと、2018年に頻発した霧島新燃岳の噴火による複数回の空振について高知県内の複数個所で観測されたデータを用いた検証を進めている。

このように、インフラサウンドの音源位置や方位は、面的に配置したセンサー群において図??に示されるような特徴的な音波波形を相互に比較し、相関のよい波群に対して相互相関関数を計算して到来時間差を正確に割り出すことで推定できる。

2017年12月には本学香美キャンパス周辺に3台のセンサーを配置し、同時に電磁波観測も2地点で行った。同領域に発生した雷鳴の精密位置推定に成功し、大規模な雷鳴ではインフラサウンドが約30kmの遠方まで伝搬できることや、雷鳴の発生位置を精度300m程度で推定できることが確認できた。?)

2012年1月に鹿児島県内で臨時観測した際のデータに、地震学における波源探索で多用されるグリッド・サーチ法を適用した解析では、鹿児島、霧島、宮崎各市の3地点の観測のみを用いて桜島噴火の音源を効率的に位置推定できることが示された。?)

2018年9月4日の台風21号の直撃(関西空港の被害をはじめ四国～近畿一円に大きな影響を与えた)においては、台風の中に入った室戸観測点において周期30分超、最大振幅100Paの音圧変動を明瞭に検知した。これは津波発生時に予測される規模を模擬したと言えるレベルであり、設置したセンサー群が津波起因のインフラサウンドに対して十分なセンシング性能を有していることが示唆される成果である。

2019年1月3日未明には、剣山上空で観測された大規模火球(隕石落下の可能性あり)について、計4地点での衝撃波の検知に成功した。同イベントは本学香美キャンパスに設置した高感度4Kビデオカメラでも捉えており、はやぶさ帰還時のデータのように、火球に対して詳細な検定が可能な国内初の多点インフラサウンド計測の成功事例となった。?)

津波警報の高度化を目的としたインフラサウンドの活用については、高知県内の計15箇所程度と同等の密度での面的配備を全国で進める必要があると考えている。図??の黄色い点は、2019年3月現在のセンサー配備状況を示しており、この図の範囲外にも北海道3箇所および岩手県1箇所にて稼働中で、2018年度内に約30地点まで拡充された(図??)。

これらの広域に分布したセンサー群による津波情報集約の仕組みは以下の通りである。まず地震発生時にはNPO法人リアルタイム地震・防災情報利用協議会(REIC)からの緊急地震速報が受信される。次に内蔵する加速度センサーが現地で一定以上の地震の揺れを感知すれば、津波インフラサウンド信号の待機モードに入る。音速で到達しうる時間内

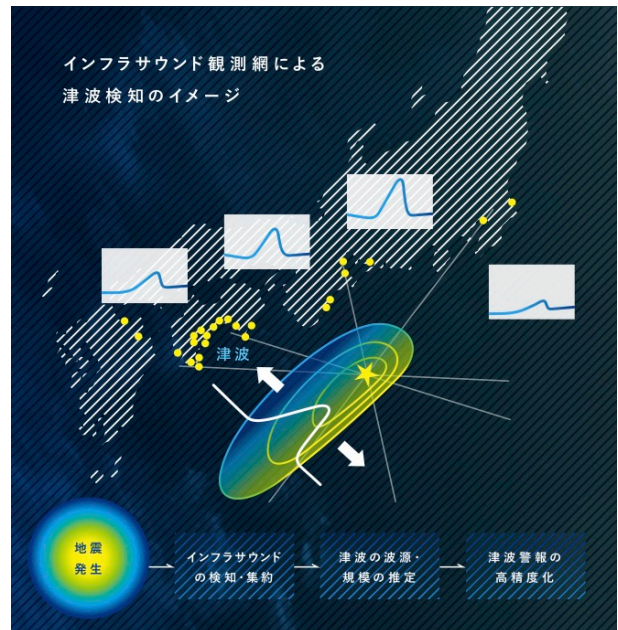


図7. センサー全国配備と津波警報高度化フロー

に大きな周期と振幅を伴うインフラサウンドの変化が検出されれば、検出時刻と最大振幅などの数値情報をデータサーバーに送信する。データサーバー側では相関処理等も行いつつ、予測される波形との照合などを進め、特に周期の情報を精査して津波規模情報(インフラサウンド津波マグニチュード)を算出する。このとき、長手方向、短手方向に応じて検出される周期が異なることも予想され、より正確な津波規模の推定に役立つ(図??参照)。?)

津波発生時のインフラサウンドの励起とその伝搬過程は、科学研究費補助金・基盤研究(B)にて理学的観点から共同して進めており、九州大学の中島健介氏と本研究室の甲斐、齊藤が中心となりシミュレーション構築を進めている。これが完成すれば、各地点で予測されるインフラサウンド信号の時間変化をある程度予測したうえで、準リアルタイムに観測信号と照合することが可能となり、津波の到達前にその遠隔観測に基づく実データを用いた津波警報の高精度化に道を拓く新しい技術となると期待される。

本システムを非常時にも着実に運用するためには、通常時には携帯電話LTE回線等で維持されている通信路の確保が重要であるが、大規模災害発生時に機能しない可能性も考えておく必要がある。そこで、通信容量は僅かであっても、低消費電力の専用電波通信で中継が可能なシステムの開発も私たちは同時に進めてきた。具体的には、総務省SCOPEの課題として採択されたことを受けて、2018～2019年度

に長距離低電力通信規格のLPWA（Low Power Wide Area）の一種としてMAD-SSという通信技術を採用した現場実証を進めてきた。総務省から426MHz帯の特定実験試験局の通信局免許も取得し、高知県内の複数のセンサー設置箇所と高知工科大学とを結ぶ非常時電波中継ルートの確保と通信品質の確認、低ビットレート通信を活用した津波情報収集の仕組みの構築を進めている。

4. 飛翔体を用いた上空でのインフラサウンド計測

これらの成果を考えるうえで、大気中の音波伝搬過程の解明は重要であるが、特に成層圏よりも上の大気中ともなれば実験的な情報取得に対するハードルは一気に高くなる。現有の手法は成層圏高度までであれば観測気球があり、中間圏～熱圏大気中では観測ロケットのみとなる。2012年8月にJAXA内之浦宇宙空間観測所より打ち上げられた観測ロケットS-310-41号機に、PDIと名付けた音響計測装置を開発・搭載し、スピーカーから既定の複数の周波数の音を発し、すぐ脇に搭載した計3台のマイクと精密圧力計にてこの音と背景圧力を計測する手法にて、上空150kmまでの音波伝搬状況の実験的な調査に成功した。これは同種の実験としては世界初の試みとなった。²⁾

火星などの惑星大気中での音響観測には着陸探査機への搭載が必須となる。最近NASAが火星着陸に成功させたInSight探査機は世界初となる「火星の音」を届けてくれた。私たちはJAXAや国内の複数の大学の共同研究者と協力し、NASA火星着陸ローバー計画MARS2020への計測装置の公募（2015年1月を期限に全世界にアナウンス）に対して、火星の砂嵐であるダストストーム・ダストデビル内で予想される雷の観測を目的とした電磁波・音波計測器を提案した。残念ながら競争率が高く、私たちの案を含む日本からの2提案は不採択であったが、将来の火星探査への応用も視野に入れ、探査機に搭載可能なインフラサウンドセンサーの小型化や予備実験を進めてきた。²⁾

2017年10月には、ESA（欧州宇宙機構）学生大気球プロジェクトBEXUSに採択されたスウェーデン・ルレオ工科大学の学生チームEXISTからの要請に基づき小型インフラサウンドセンサーINF03を4台提供し、彼らの開発する観測システムに搭載して成層圏でのインフラサウンド観測を目指した。残念ながら収録装置側のトラブルによって途中までのデータ取得に留まったが、高度26kmまでの飛翔



図8. 観測ロケット Momo および搭載センサー

と高度11kmの成層圏下部までの音響計測に成功した。²⁾

さらに2018年には北海道のベンチャー企業であるインターステラテクノロジズ株式会社（IST）が進める民間企業単独では国内初となる観測ロケットMomoシリーズに搭載するための小型軽量インフラサウンドセンサーへと進化させ、2018年6月のMomo2号機において最初の科学実験に挑んだ（図??）。残念ながらこの2号機はロケット自体の打ち上げ失敗によりセンサーはロケット機体ごと地上に落下・炎上した。このとき私たちは地上複数地点に配置したインフラサウンドセンサーやロケット搭載センサーによって、落下の衝撃や爆発による爆風圧の計測などを行い、安全評価に関わる貴重なデータセットを取得した。²⁾

そして、令和の時代を迎えた4日目の2019年5月4日の早朝5:45、快晴の北海道の上空へMomo3号機が懸命に打ち上げて行き、無事に高度113kmの熱圏に到達。高度100kmを超え宇宙空間まで到達した民間企業単独開発として日本初のロケットとなった。私たちの搭載センサーや地上設置センサー群も成功裏に音響データを取得することができた。高知工科大学総合研究所インフラサウンド研究室は、同システム工学群の学生諸氏と共にMomo3ロケット実験に参画し、日本の民間ベンチャー宇宙開発の成功例の先駆けとなった新時代の1ページに唯一の科学観測チームとして関わることができた（図??）。

両実験では2台のインフラサウンドセンサーと共に、音源として一定時間おきに鳴動するブザーを搭載したほか、地上からは「音玉」と呼ばれる音響火花を複数回打ち揚げて人工的なインフラサウンド源を作った。ちなみにロケットは音速を超えて飛翔するため、火花はロケットの打ち上げ前に予め等間隔で5回打ち揚げておき、ロケットはこの5回分の音に上空で追い付き、上空での音場の乱れをセンサーが検出するのである。得られた観測結果の詳細は解析中であるが、火花により乱された音場を観測できたものと思われる。²⁾

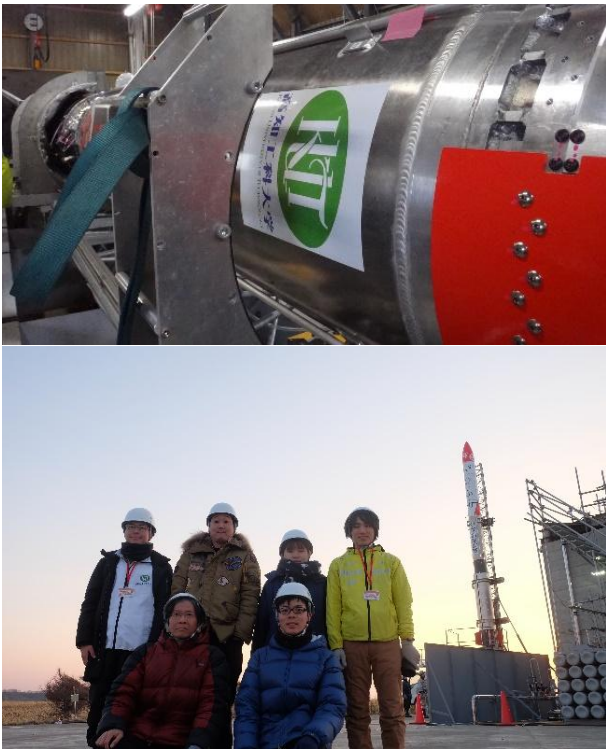


図9. 高知工科大学ロゴの入った Momo3 機体
(上) 及び打ち上げ直前の Momo3 ロケットとともに (下)

5. インフラサウンド面的観測網の応用と海外展開

これらの成果は、国内のみならず同様の災害が予測される国外でも適用可能であり、2019年度以降にはNEXCO関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金の補助を得て、土砂災害からの道路防災への活用を目指した研究を国内で進めていく予定である。すでに土砂災害や雷検知等をターゲットとして小型化したセンサー INF04 を開発しており、これを10台規模で数kmのメッシュで面的配置することで、豪雨災害等による土砂災害や冬季の雪崩の検知などに向けた取り組みを、高速道路が山間を通り抜ける区間の周辺で実証していく。2018年の豪雨災害では高知自動車道の橋桁の崩落等が発生しており、土砂災害発生地点をいち早く遠隔で特定し情報集約することは重要な課題である。

インフラサウンド面的観測の海外展開としては、2016年度より北海道大学他との共同研究を開始している。具体的には、SATREPS-ULAT プロジェクトにて、フィリピン・マニラ近郊に計50地点のインフラサウンド面的観測網の設置に向けた活動が同国側チームとの国際協力のもと進められている

(SATREPS: JICA と JST の支援による「地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム」)。ULAT プロジェクト(代表: 北海道大学 高橋 幸弘氏)では、雷活動の分布を多地点からの雷電磁波の計測から明らかにすることで、それに続く集中豪雨等の活動域を予測し、同地で頻発する洪水被害等の軽減に与する計画である。雨雲レーダーなどの高コストな装置導入が困難な途上国において、雷活動を低コストかつ高精度にモニタリングできることは、洪水被害の減災に有効と ULAT 研究チームは考えている。

本研究室としては、ULAT にインフラサウンドセンサーを用いた音波の遠隔計測を組み合わせることで雷発生位置の検出精度を高めること、電磁波観測のみでは困難とされる雷のエネルギーを推定すること、をターゲットとして参画している。2019年5月現在で、マニラ近郊の計22箇所へのセンサー配備が完了しており、2019年の夏ごろには最初のデータセットが得られ、初期解析等を開始できる予定であり、熱帯域での豪雨災害等における減災への貢献が期待される。’)

6. 終わりに

本稿では、高知工科大学 総合研究所 インフラサウンド研究室(重点研究室)における研究開発について、その取り組みを紹介してきた。2019年5月現在、高知工科大学の運用するインフラサウンド観測点は高知県内の計15地点を含み、北海道から九州までの計30地点に拡充できたが、インフラサウンドの観測点の整備やその防災活用は道半ばである。引き続き研究開発の推進拠点として重点研究室のスキームを活用していくとともに、特に津波被害が想定される高知県に立地する大学として、地域の安心・安全な生活のために微力ながら貢献していきたい。

謝辞

本研究室における2018年度までの活動の一部は、セコム科学技術振興財団 研究助成、科学研究費補助金 基盤研究(A) 26241010(分担)、同 基盤研究(B) 17H02062、総務省 SCOPE(電波有効利用促進型研究開発)、JST 研究成果展開事業 マッチングプランナープログラム「探索試験」、東京大学地震研究所 特定共同研究(B)、国立極地研究所 一般共同研究において補助を受けております。特に、三重県・愛知県内の5台のセンサーについては富士電設株式会社からの出資により早期配備が実現いたしま

した。センサーの設置・運用にあたっては、高知県内外の各自治体、企業、個人などにお世話になっております。研究推進へのご理解とご尽力を頂きました関係者の皆様方に、深く感謝を申し上げます。

SATREPS”, JpGU 2019, Chiba, 2019.

文献

- 1) Arai, N. et al., “Atmospheric boundary waves excited by the tsunami generation related to the 2011 great Tohoku-Oki earthquake”, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L00G18, 2011.
- 2) 山本 真行, “国内外のインフラサウンド研究の現状”, *月刊地球*, 34, 554–559, 2012.
- 3) Yamamoto, M.-Y. et al., “Infrasonic Waves in Antarctica: A New Proxy for Monitoring Polar Environment”, *Intl. J. Geosci.*, 4, 797–802, 2013.
- 4) Yamamoto, M.-Y. et al., “Detection of Acoustic/Infrasonic/Seismic Waves Generated by Hypersonic Reentry of the HAYABUSA Capsule and Fragmented Parts of the Spacecraft”, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 63, 971–978, 2012.
- 5) 齋藤 耕, “電磁界アンテナおよびインフラサウンドセンサを用いた雷位置探知システムの構築”, 高知工科大学 大学院工学研究科 修士論文, 2017.
- 6) 反町 玲聖, “インフラサウンドの面的配置における波源位置推定方法の最適化”, 高知工科大学 大学院工学研究科 修士論文, 2017.
- 7) 佐藤 匠 他, “新 HRO 干渉計システムにおけるリアルタイム解析手法の確立と流星総合観測の運用試験”, *JpGU 2019*, 千葉, 2019.
- 8) Kihara, D. et al., “In-situ Measurement of Acoustic Wave Propagation Characteristics in the Middle and Upper Atmosphere On-board S-310-41 Sounding Rocket”, *Trans. JSASS*, 12, ists29, Pm.1-Pm.6, 2014.
- 9) Yamamoto, M.-Y. et al., “Studies of Dust and Discharges around a Martian Rover with Onboard Hazard Analyses Using Electromagnetic and Acoustic Wave Measurement”, *Trans. JSASS*, 14, ists30, Pk.41-Pk.45, 2016.
- 10) 藤津 裕亮, “火星表層模擬環境および地球成層圏下部実大気中での音波特性の実験的検証, 高知工科大学 大学院工学研究科 修士論文”, 2017.
- 11) 安河内 祐輔 他, “大気中での爆風圧の定量評価及び低周波音／可聴音伝搬特性の直接計測”, *JpGU 2019*, 千葉, 2019.
- 12) Yamamoto, M.-Y., “Infrasound multi-site observation of thunders 3: preparation process for

Research Activities of Infrasound Research Laboratory for Disaster Prevention/Mitigation in Local Society

Masa-yuki Yamamoto^{1*} Hiroaki Saito¹ Yoshiro Kai¹

Yutaka Kikuchi¹ Yoshihiro Kakinami^{1,2} Akihiro Yokota^{1,3}

(Received: June 13th, 2019)

¹ Infrasound Research Laboratory, Research Institute, Kochi University of Technology
185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami City, Kochi 782–8502, JAPAN

² Hokkaido Information University
59–2, Nishinopporo, Ebetsu, Hokkaido 069–8585, JAPAN

³ SAYA Inc./RESONA ALES Inc.
4–1–2–206, Motonakayama, Funabashi, Chiba 273–0035, JAPAN

* E-mail: yamamoto.masa-yuki@kochi-tech.ac.jp

Abstract: Infrasound, so-called very low frequency sound, is inaudible sound wave whose frequency range is lower than 20 Hz of the human audible lower limit. Due to physical characteristics of pressure wave vibration in the atmosphere, pressure vibration with a small amplitude is silently generated and propagating in the Earth's atmosphere. Since 2005, in the Electronic and Photonic Systems Department, Faculty of Engineering, Kochi University of Technology (KUT) at that time, we started studies on infrasound and it has continuously been handed over to a laboratory (Space and Earth Exploration Systems Lab.) in School of Systems Engineering, KUT. In April 2017, in the Research Institute of KUT, the Infrasound Research Laboratory (one of the focused research laboratories) was established and since then, we have advertised the "Infrasound Research Laboratory" on a billboard in KUT. The aim of the focused research laboratory is to make a concentrated research hub in specific study areas by putting a unique laboratory in the institute so as to be together many researchers in the hub and expand collaborated research activities. Since sources of the infrasound are not only from artificial blasts but also mainly from geophysical natural phenomena, it is expected to contribute to disaster prevention/mitigation when we can obtain information about the energy scale of each geophysical phenomenon with detecting such events by using remote sensing with constructing observation network. In the sea coast area of Kochi pref., as we have warning of tsunami disaster to be induced by coming Nankai trough earthquake, accumulating of significant knowledge of disaster mitigation studies with eternal viewpoint is required. It is considered that we need the accumulation of essential knowledge of the nature of disaster-inducing phenomena as well as engineering technology of observing infrasound signals and its robust transmission to local society especially in emergency cases. We are studying such application of infrasound technology. In this paper, we report our research activities concerning with infrasound and its applications.