

# NEWSLETTER OF IPNTJ

測位航法学会ニューズレター Vol. XIII No.3 2022年10月5日 IPNTJ



**測位航法学会  
ニューズレター  
第 XIII 卷第 3 号**

## 目次

- P.2-3 トンガ海底火山噴火による電離圏擾乱から気象津波の情報をいち早くキャッチ 新堀淳樹
- P.4-5 新しいフェーズに入った衛星測位技術を加速させる人材育成の取り組みの紹介 久保信明
- P.6-7 アレーアンテナのGNSSマルチパス軽減への応用 米山まうむ
- P.8-9 全国大会2022報告
- P.9 ロボテス EXPO2022 報告 松岡 繁
- P.10 誤解を理解の入り口に 喜多充成  
サマースクール 2022 報告
- P.11 イベント・カレンダー・編集後記
- P.12 過去のイベント写真 法人会員

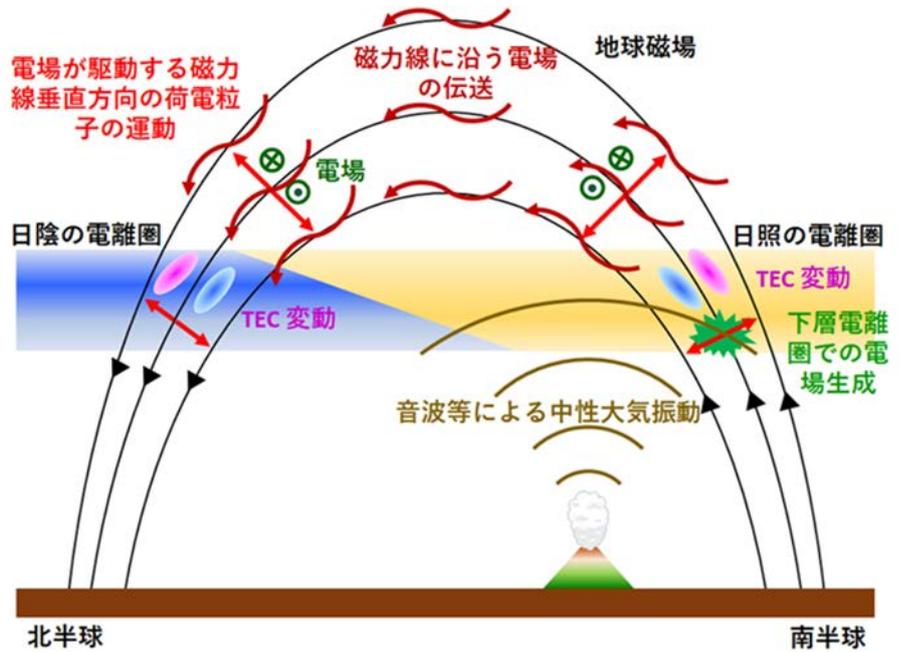


図3:トンガ火山噴火後に南北両半球で観測された電離圏擾乱の発生メカニズム。  
本文 P.3



特別法人会員



2022.09.28-30 N-PLUS@東京ビッグサイト

東京ビッグサイトのSATEX展示場の一角にスペースを頂きました。



# トンガ海底火山噴火による電離圏擾乱から気象津波の情報をいち早くキャッチ

名古屋大学宇宙地球環境研究所・特任助教 新堀淳樹(正会員)



## 1. はじめに

我々が暮らしている地球大気圏の上部(高度:80 km以上)は、太陽から常時地球に向かって降り注ぐ太陽放射によって一部が電離し、電離圏が形成されている。我々の生活に欠かせない全地球測位衛星システム(GNSS)や衛星放送・通信で使われている電波は、必ずこの領域を通過することになる。ひとたび電

の軽石が漂着したことは記憶に新しいが、この噴火時にも電離圏電子密度擾乱が観測されている。これまでは、GNSS受信機網がカバーできる領域が狭く、火山噴火後に観測される電離圏擾乱の地球規模にわたる時間・空間変化が分かっていた。ところが、1,000年に1度と言われている大規模海底火山噴火が南太平洋トンガ沖で発生し、その噴火後に全球にわたって電離圏擾乱が観測された。この電離圏擾乱の特徴や発生メカニズムを解明することを目的として本研究が始まった。

本研究では、全球にわたる電離圏の変動を高時間・高空間分解能で観測するために世界各地に設置されている約9,000台に及ぶGNSS受信機データを収集し、それらのデータから全電子数(TEC)に変換し、TECデータベースを作成している。また、トンガ火山噴火によって発生した気圧波や電離圏擾乱の原因となる荷電粒子の動きの情報を得るために、気象衛星ひまわり8号の赤外輝度温度データと北海道陸別町に設置された電離圏観測用レーダー(SuperDARN(Super Dual Auroral Radar Network)レーダー)データを使用した。これらのデータ解析には、2009年度から開始された大学間連携プロジェクト「IUGONET」で開発された統合データ解析ツールを使用した。

## 2. 解析結果

解析の結果、オーストラリア上空で気圧波(図1のグレースケール表示)の波面に沿った電離圏電子密度変動(図1のカラーマップ表示)が観測されており、対流圏を伝搬する気圧波から生まれた大気擾乱が電離圏電子密度変動を生成し

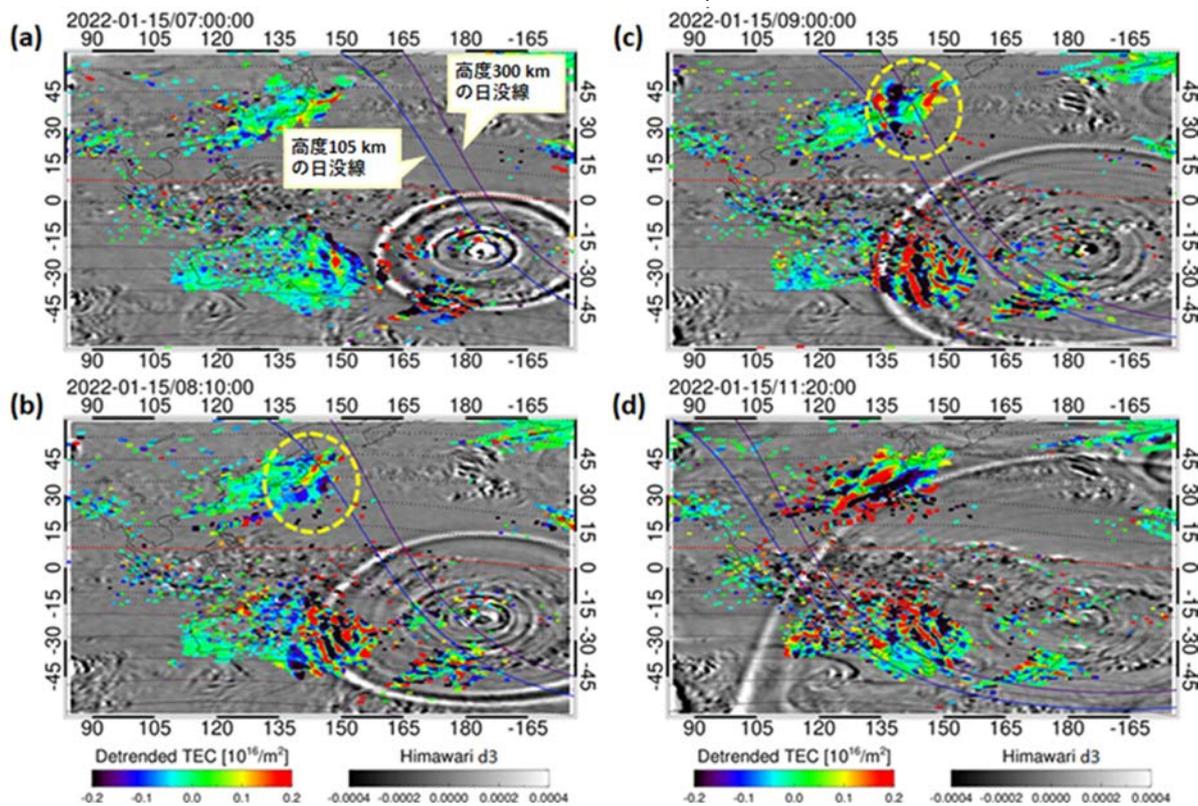


図1:世界時2022年1月15日7:00、8:10、9:00、11:20における赤外輝度温度とTECの変動成分の2次元マップ図。縦軸と横軸はそれぞれ、地理緯度と経度を表す。赤外輝度温度偏差をグレースケールで、15分の移動平均値を差し引いたTEC変動値をカラースケールで表している。黄色の点線で囲った部分のTEC変動は、オーストラリア域で観測されたTEC変動に同期して出現したものの。

たことを表している(図1 b, c)。特に、8:10と9:00の時間帯では、オーストラリア上空で観測された電離圏電子密度変動とは別に、西向きに伝搬する電離圏擾乱が日本上空で観測されている(図1 b, cの黄色の点線で囲った部分)。詳細にデータを分析した結果、日本上空とオーストラリア上空で観測された電離圏電子密度変動の空間構造は、磁気赤道を挟んで鏡像の関係にあった。これは、南北両半球の電離圏擾乱が磁力線を介して

結合していることを意味する。なお、日本上空で観測された電離圏擾乱の出現時には、まだ日本に気圧波が到達していないことは2次元マップを見ても明白である。逆に、11:20の時間帯に日本上空で観測された電離圏擾乱に対応するTEC変動がオーストラリア域で見えていない。気圧波本体が通過したこの時間帯は既に日本上空の電離圏が日陰の領域に入っており、磁気赤道を挟んで鏡像の関係にある電離圏電子密度変動の空間構造の出現には、電離圏の状態も関係していることが分かった。

さらに、SuperDARNレーダーから得られた電離圏荷電粒子の速度データと比較することにより、日本上空で現れた電離圏擾乱の発生メカニズムが明らかになってきた。図2はSuperDARNレーダーで観測された北半球における100 m/sを超える荷電粒子の運動を示しており(図2の左側上から2枚目の図「15分の移動平均値を差し引いた電離圏荷電粒子の北向き速度」)、その運動は、南半球で観測された気圧波とそれに伴う電離圏擾乱(図2の左側上から3枚目の図「15分の移動平均値を差し引いた南半球のTEC値」)に同期していることがわかった。この結果から、日照域の南半球において気圧波が生成した大気擾乱(音波や大気波動)が上空の電離圏に伝わることによって、下層の電離圏を揺さぶることで電場が生成し、その電場が磁力線に沿って南半球の上部電離圏、及び北半球の電離圏に高速で伝わり、電離圏擾乱を引き起こしたと考えられる(図3・表紙)。実際に、国際標準電離圏モデルから計算された電離圏電子密度分布にSuperDARNレーダー観測から推定された電場を入れたモデル計算からも観測と同様のTEC変動を再現することができた。したがって、本研究結果は、トンガ火山噴火後に見られた電離圏擾乱の発生メカニズムが通常の中規模電離圏擾乱の発生機構(昼間:重力波による電離圏の揺さぶり、夜間:電子密度の粗密に伴う分極電場)とは異なっていることを示した。なお、磁力線に沿って伝わる電磁波(電場)の速度は、

600 ~ 1,000 km/sと、下層大気を伝わる音速(315 m/s)に比べて圧倒的に速いため、たとえ伝搬距離が長くとも、気圧波が日本に到達する前に、南半球で生成された電離圏擾乱のシグナルをいち早く到来していたことによる。今回の場合、気圧波がもたらした津波が日本に到来する少なくとも3時間前に電離圏観測からその情報が得られたこと

になる。

### 3. 研究成果の意義、今後の展望

これまで火山噴火、津波、気象現象によって発生した大気波動は、単に直上付近の電離圏を揺さぶるだけで、昼間側の電離圏に限れば南北両半球の共役性はないと考えられていた。ところが今回の研究結果から、昼間側の電離圏においても電離圏擾乱の南北両半球の共役性が存在することを、TEC観測で初めて示した。今後、昼間側の電離圏擾乱の共役性がどのような条件下で発生しうるかについての研究が期待される。

本研究の結果は、科学面だけでなく、防災面においても意義があります。磁力線を介して伝わった電離圏擾乱は、津波を引き起こしたとされる火山噴火由来の気圧波が日本へ到来する約3時間前に観測された。今後、複数の火山噴火や地震イベント時における電離圏擾乱の統計解析を実施することにより、津波の波高や規模を電離圏擾乱のシグナルからの推定が可能となれば、津波が到来する前に電離圏擾乱を活用して津波に関する情報を予め得られることを示唆している。

なお、本研究の内容が2022年7月13日付で地球科学の総合国際学術雑誌「Earth, Planets and Space」に掲載され、翌日には国内外の報道関係に向けたプレスリリースを行った。その結果、40を超える海外のメディアに注目され、その内容が紹介された。

#### [掲載論文]

Shinbori, A., Otsuka, Y., Sori, T. et al. Electromagnetic conjugacy of ionospheric disturbances after the 2022 Hunga Tonga-Hunga Ha'apai volcanic eruption as seen in GNSS-TEC and SuperDARN Hokkaido pair of radars observations. *Earth Planets Space* 74, 106 (2022). <https://doi.org/10.1186/s40623-022-01665-8>.

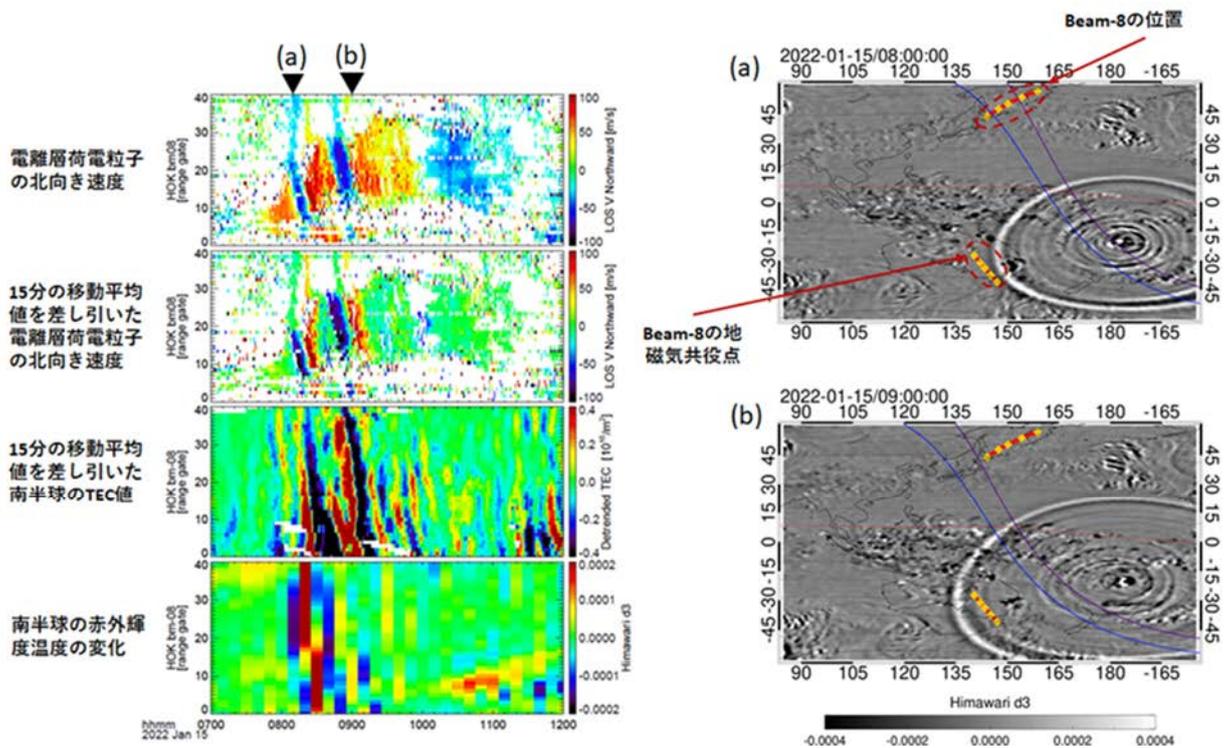


図2:世界時2022年1月15日7:00~12:00におけるSuperDARNレーダーで観測された特定方向の視野の電離圏荷電粒子の北向き速度、その15分平均値を差し引いた速度、15分平均値を差し引いた南半球(磁気共役点)のTEC値と赤外輝度温度の距離-時間断面図。右の2次元プロット図中の赤とオレンジの曲線は、SuperDARNレーダーの特定方向の視野とその磁気共役領域を表す。

# 新しいフェーズに入った衛星測位技術を加速させる人材育成の取り組みの紹介

東京海洋大学・教授 久保信明(本会理事)



2021年度より文部科学省の宇宙航空科学技術推進委託費の宇宙航空人材育成プログラムに採択され(課題名「新しいフェーズに入った衛星測位技術を加速させる人材育成」)、中部大の海老沼拓史先生、千葉工大の鈴木太郎先生とソフトウェアGNSS受信機に関する人材育成を進めています。ここでは、その内容について簡単に紹介します。

本課題の遂行にいたった背景を以下に述べます。センチメートル級が可能な測位エンジンを持つ低コスト受信機の登場で、高精度測位アプリケーションが広く社会に浸透しつつあり、限られたユーザにしか利用できなかった測位技術がコンシューマレベルの商品に加わり、新しいフェーズに入ったと考えられます。スマートフォンでの測位も当たり前になり、その精度向上も目覚ましく、車内にスマホホルダーに置いてあるスマートフォン(kirin搭載)のGNSS測位情報を取得し、同時に取得したRTKの測位結果を用いて精度を検証すると、高速道路のトンネル区間を除くと(常磐道の土浦インターから箱崎ジャンクションまで)おおむね99%以上が水平で5m未満に入っており、50%以上は1.5m未満という結果でした。周囲が比較的開けた場所の車線判別はスマートフォンでも可能なレベルになってきています。千葉工大の鈴木先生は米国航法学会のスマートフォンチャレンジというコンペティションで2年連続トップをとられており、市販のスマートフォンのGNSS観測データを利用した米国の高速道路等での測位精度はほぼ1.5m未満と聞いています。

## プログラムおよび教材

1	ソフトウェアGNSS受信機を学ぶ重要性	久保	on-line
2	GNSSの基礎1 測位衛星、座標、時刻と衛星位置	久保	on-line
3	GNSSの基礎2 観測誤差と測位方式等	久保	on-line
4	フロントエンドの役割と概要 (IF、ビット、サンプリング、IQ値等)	海老沼	教室
5	教材で利用するソフトウェアGNSS受信機の紹介 (GithubやPCの動作環境等)	鈴木	教室
6	GNSSの信号について (衛星からの信号を知る)	鈴木	教室
7	信号の捕捉について (再捕捉の必要性)	鈴木	教室
8	信号の追尾について (DLL、FLL、PLL、信号強度、フィルター設計)	鈴木	教室
9	航法データのデコードについて	鈴木	教室
10	観測データの生成と測位演算について	鈴木	教室
11	FPGAの活用 (HDLの基礎)	海老沼	教室
12	FPGAの活用 (Xilinx Vivado入門)	海老沼	教室
13	FPGAの活用 (C/Aコードの生成とテストベンチ)	海老沼	教室
14	GNSSシミュレータの役割と概要、電波暗室の概要	海老沼 久保	on-line
15	GNSS-SDRの有用性、将来GNSSそしてQZSSの計画と期待	JAXA	on-line

各教材の閲覧は:<https://gnss-learning.org/learning/>

今後、上記のような位置の精度だけでなく、位置の信頼性を担保することや欺瞞信号及び干渉波への対策、cm級測位ができない要因等を自分の力で解くことのできる人材が強く求められています。例えば車の自動運転支援となると、カーナビのように精度・利便性だけでなく信頼性の担保が必須となるでしょう。また他センサとの統合手法も重要になります。本課題では、上記課題に対応すべく、衛星測位技術の中でもコアとなる受信機の仕組みや観測値を、自分の手で自由に改良できる人材を輩出することを目的としています。

2021年度は3名の教員らでソフトウェアGNSS受信機の教材や実際のプログラムを構築し、2022年度は8月に第1回のセミナー(8月8日から10日)と電子航法研究所でのアンテナの測定試験を終えたところです。2回目は2023年2月開催予定です。90分で15回分の教材を準備し、現在まだ公開しておりませんが、受講者は以下の通りHPより閲覧できるようにしております。プログラムについては、千葉工大の鈴木先生がメインで開発されており、今後Github等で公開されると思います。鈴木先生はすでにC言語ベースのSDRLIBをGithubで公開されていますので、こちらのプログラムで自由に改修できる方はこちらを利用頂くこともできます。今回作成した教材は、GNSS受信機の中身の動作を初めて見る若手研究者を対象にしており、MATLABのSimulink等を使うことでモデルベースとし、改修を直感的にできるような教材となっています。

2022年夏に実施したセミナーとアンテナ測定の概要について報告します。詳細は<https://gnss-learning.org/blog/>に記載しております。参加者は15名で起業の若手研究者、大学院生で半々でした。ソフトウェアGNSS受信機で重要となる部品はフロントエンドです。2021年度より、Maxim integrated社のMAX2771チップをベースに、関係者で開発頂いたフロントエンドがポケットSDRと呼ばれるものです。詳細は以下をご覧ください。<https://github.com/tomokitakasu/PocketSDR> また従来よりGNSSに限らないソフトウェア受信機のフロントエンドとして利用されてきたRTL-SDRを利用しました。こちらもAmazon等で調べて頂くとすぐにわかります。15コマの講義のうち、最初の3コマについては、GNSSの基本のためZoomで実施しました。対面でのセミナー前にGNSSの基礎に関する80問ほどの小テストとMATLABの基礎を受講して頂き、全員修了済みです。なお、本課題の事務的作業はすべて測位航法

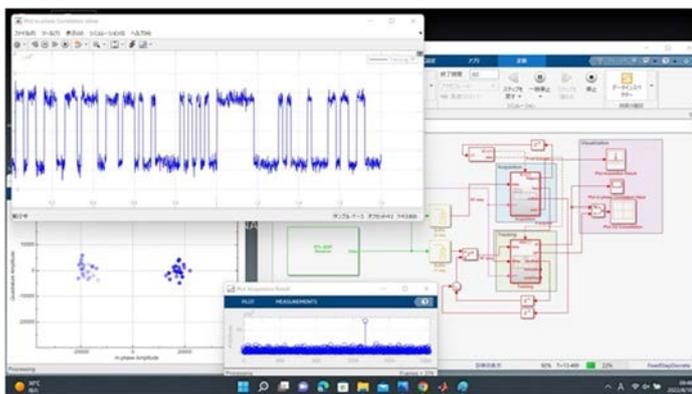


学会へ委託しております。ポケットSDRとRTL-SDRは前ページ右下写真の上下となります。大きさはどちらも同じ程度で、ポケットSDRのほうが高機能化されています。

セミナーを実施した場所は、東京海洋大学の第4実験棟の大教室で、利用した屋上のアンテナと再放射キット(矢印の先)の写真は以下となります。



私自身も3日間フルで参加し、鈴木先生、海老沼先生の講義を受講しました。以下の写真は3日目にリアルタイムでRTL-SDRのフロントエンドとAMO社のアンテナを利用して信号追尾をしている状況の画面です。MATLABなのでCと比べると遅い



動作確認状況

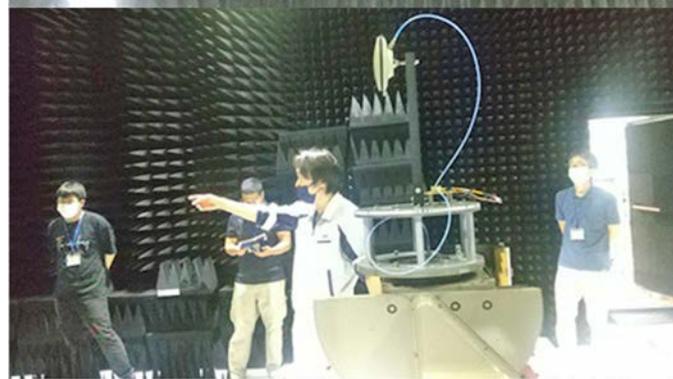


講義風景



すが、私のPCでは4チャンネルでの単独測位までリアルタイムで動作確認できました。

次に電子航法研究所でのアンテナ測定について紹介します。電波暗室で、電子航法研究所の毛塚様より測定機材の説明を受けているところです。この日に合わせてJAXAの山田様からもソフトウェアGNSS受信機を利用した発展的課題に関する講義をして頂きました。



最後に本セミナーを受講した方々に展開している発展的課題の一部について以下に列挙します。詳細はこちらをご覧ください。 <https://gnss-learning.org/advance/>

- ★新しいLEO衛星の信号を受信また追尾まで行う
- ★信号追尾の相、Q相の値を直接利用
- ★RTKやPPPIに関連して搬送波位相のスリップや追尾特性の把握
- ★マルチパスの研究で信号処理部の値が必要
- ★ジャミング、スプーフィングにおける受信機の振舞の把握
- ★低軌道衛星用GNSS受信機(プロトタイプ)やデータ取得
- ★キャンペーンにおいて元となるIFデータの取得

現在、2023年2月に実施する第2回セミナーの参加者を受け付けております。残り数名の枠となっておりますが、もし希望される大学院生の方がおられれば、遠慮なく久保(nkubo@kaiyodai.ac.jp)までご連絡ください。よろしくお願いいたします。

# アレーアンテナのGNSSマルチパス軽減 への応用

大阪公立大学 工学研究科 航空宇宙海洋系専攻 航空宇宙工学分野 米山まうむ(学生会員)



本稿では測位航法学会2022年度全国大会研究発表会にて発表を行いました「アレーアンテナによるGNSSマルチパスの方向推定及び誤差低減に関する研究」についてご紹介します。発表の際にはお話できなかった実験機器の構成などについてもここでご紹介できればと思います。

GNSS測位では、GNSS衛星から受信アンテナに直接届くLOS(Line of Sight)信号以外の信号によって測位に悪影響が生じます。このような不要な信号による問題として、マルチパスやスプーフィングといった問題が挙げられます。マルチパス誤差低減への取り組みとして、グランドプレーンやチョークリングなどアンテナ自体への対策や、搬送波位相を利用したキャリア・スムージングなどの測位演算領域での対策、ナローコルレータなど相関処理領域での対策などGNSS測位の様々な段階での取り組みが存在します。スプーフィングについては、意図的なものであるためアンテナの工夫では避けがたく、また正常な信号として認識され処理が行われると、測位演算領域での検知は難しく抑制も困難なため、信号処理領域での対策が必要となります。

本研究ではアレーアンテナと呼ばれる幾何学的な配置が既知として並べられた複数の素子からなるアンテナを使用します。これは図1における信号処理前の信号(Digital IF)に対して処理を施すこと(あるいはアンテナ部分での工夫とも言える)で問題の解決を図るものです。ここで図1に示した本研究におけるGNSS信号の処理の流れについて触れておくと、アンテナに届いたGNSS信号(Lバンド)は帯域通過フィルタ(BPF)や低雑音増幅器(LNA)を経て、フロントエンドと呼ばれる装置で周波数変換による中間周波数(IF)へのダウン・コンバートとデジタル・サンプリングが行われ、デジタル(Digital IF)信号に変換されます。フロントエンドにおいて2つの信号経路がありますが、これらはそれぞれ、受信機の局部発振器で発生させたRF信号をミキサーにて同相でかけ合わせたI相(In-Phase)と、位相を90度ずらして(直交位相で)かけ合わせたQ相(Quadrature-Phase)です。このようにサンプリングしておくことで信号処理において位相の取り扱いなどが便利な複素表現でデータを扱える利点があります。本研究ではフロントエンドで取得したデータはPCを介して外付けSSDに保存しています(図2)。サンプリング周波数が20.46MHzの2bit I/Qの6素子フロントエンドによるデータは10分程度の測定で35GB程の容量にもなるためデータ管理や解析は厄介な部分があります。保存されたデータをPC上で信号処理を施し、方向推定の解析や不要波の抑制処理などを行っています。不要波の抑制についてはI/QサンプリングされたデジタルIF信号を、鈴木太郎先生のGNSS-SDRLIBを利用して処理し、得られた観測ファイルや航法ファイルを高須知二先生のRTKLIBを使用して測位結果を算出しています。ご存じの方も多いと思いますがこれらのソフトウェアをオープンソースとして公開されておられます。また、同じく高須先生が作成されたPocket SDRはフロントエンド機能から信号処理まで可能なハードウェア・ソフトウェアの情報公開されています。

次に本研究で使用しますアレーアンテナについてご説明します。図3に示したように、アレーアンテナでは到来信号に対

して各素子の幾何学的な配置から算出される伝搬距離差の分だけ位相が異なる信号が各素子で取得されます。この位相差の分を調整して各素子の信号を合成することで特定の方向の信号強度を強めたり弱めたりすること(指向性の制御)ができます。

アレーアンテナを用いた本研究の大まかな流れについてご説明します。本研究では不要信号の到来方向推定と指向性の制御による不要波の抑制という大きく二段階に分けることができます。到来方向推定により不要波の方向を推定し、指向性の制御によりその方向の利得を下げることで不要波を抑制するという流れです。まず、到来方向の推定にはMUSIC(Multiple Signal Classification)法と呼ばれる信号の相関行

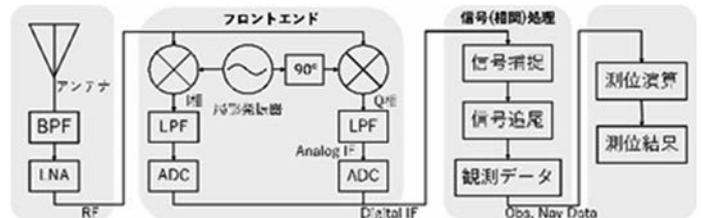


図1 GNSS信号の処理の流れ

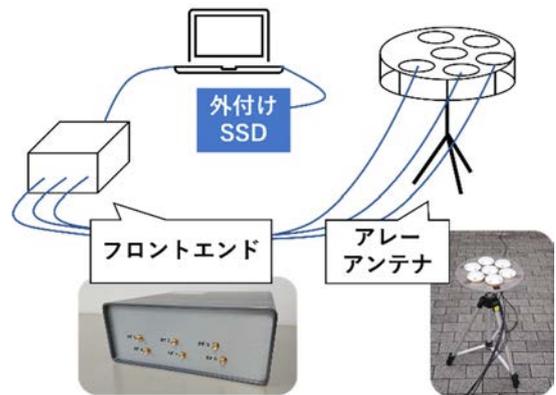


図2 装置概観及び構成の概略

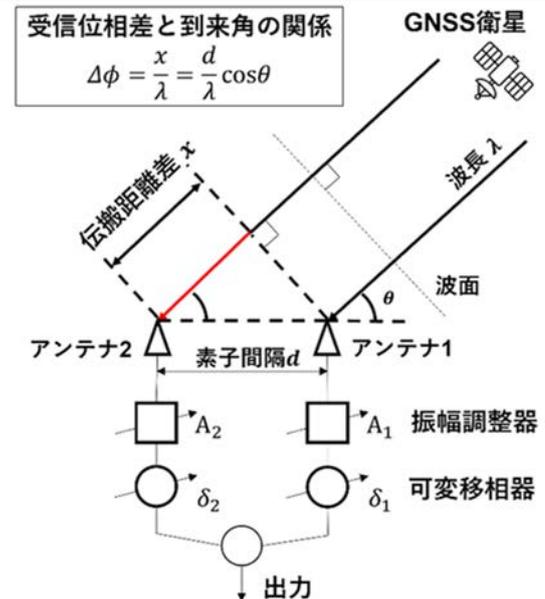


図3 アレーアンテナの原理

列の固有値と固有ベクトルを解析し、熱雑音電力に等しい固有値の固有ベクトルで到来信号を探索する手法を用いています。MUSIC法はアレー素子数より推定する信号数が小さくなければならないこと、また測位信号の強度は微弱であることから、逆拡散処理(相関処理)を行い測位衛星ごとに信号を復調したのに対してMUSIC法を適用し、方向推定を行っています。次に指向性の制御についてはDCMP (Directionally Constrained Minimization of Power)法を用いています。これは方向の拘束条件の元でアレーの出力電力を最小化する手法で、特定の方向の受信電力を保護したり抑制したりすることができるアルゴリズムです。この手法は所望・不要信号の到来方向が既知であるという前提の元に機能する手法であるため、MUSIC法で得られた到来方向情報をDCMPでの指向性の制御に利用するというを考えています。

最後に測位航法学会の全国大会にて報告しました実験についてご説明します。実験の流れとしては、まずオープンスカイ環境にてアレーアンテナの較正を行うためのデータを3分間取得しました。その後、電源を落とさずにマルチパス環境として壁面から垂直に3m離れた地点にて5分間データを取得しました。このときフロントエンドの不調により6素子分のRF端子の内、第4素子のデータは使用できなかったため、全5素子のアレーアンテナの信号データを用いて解析を行いました(図4左上にアレー素子とフロントエンドのRF端子番号の対応を示した)。解析結果について、まずオープンスカイで取得したデータの方向推定は、実際の衛星方向にMUSICスペクトラムの強度のピークが現われており、またMDL (Minimum Description Length)による信号数推定の結果も到来波数が1であり、この結果から方向推定が正常に行っていることが確認できました。次にマルチパス環境での取得データについては、図4に示したようにG23衛星の実際の信号到来方向(仰角 35[deg], 方位角 188[deg])以外にMUSICスペクトラムの強度のピークが見られました。実験環境にて建物でG23衛星からの到来信号が反射したとすると、予想される反射波の到来方向は仰角 35[deg], 方位角 264[deg]であり、これはMUSICスペクトラムのピークから推定される信号到来方向は仰角 42[deg], 方位角 257[deg]とほぼ一致しており、反射波の到来方向が取得できたのではないかと考えています。この結果は、MDLにより推定された信号到来数3を元にMUSICスペクトラムを算出した結果です。ただし図4に示した結果はある瞬間における推定結果であり、このような反射波と思われるMUSICスペクトラムのピークが見られたのは、マルチパス環境での取得データ(5分間)を1秒間隔での解析したうちの2~3割程度でした。またG23衛星以外の衛星では反射波の

ような到来波のピークは発見できませんでした。この反射波の到来方向情報を用いて、DCMP法で反射波を抑制するようなアンテナパターンになる重みを計算し、アレーアンテナの各素子で取得した信号を合成して測位結果を試みましたが、観測ファイルに出力された衛星数が十分でなく測位にまどつながらませんでした。この指向性の制御の部分は今後の課題と考えています。

全国大会の研究発表会の内容に加えて、もう少し方向推定結果について深入りしまして、MUSIC法でピークを算出する過程での実際の相関行列の固有値について詳しくみてみます。表1に各環境での相関行列(5素子なので5×5の行列)の固有値を示しました。固有値は降順に並べており、大きいものが信号部分として、残りの固有値の小さいものは雑音部分として考えることができます。例えば信号数(信号部分)を1とした場合、5素子アレーでは残りの4つの固有値(固有ベクトル)が雑音部分ということになります。MUSIC法では方向推定の前段階として到来信号数の特定が必要であり、先ほど述べたMDLでは固有値を用いて信号数の推定を行います。MDLでの信号数推定に加え、信号数をこちらで指定してMUSICスペクトラムを算出して解析を行うことも可能であり、どの固有値(固有ベクトル)を雑音部分としてMUSICスペクトラムの算出を行うかによって、到来方向を示すピークの出方には違いが生じます。例えば図5に信号数を2としたときの図4と同一時刻での方向推定結果を示しました。このあたりの固有値の扱い方などについては検討の余地があると考えています。

ここまでをまとめると、マルチパスやスプーフィングといった不要波に対する解決手法としてのアレーアンテナについて、その位置づけから実験結果までをご説明しました。今後はマルチパスの低減といったあたりにまで研究をつなげていければと考えております。ここまでお付き合いいただきありがとうございます。

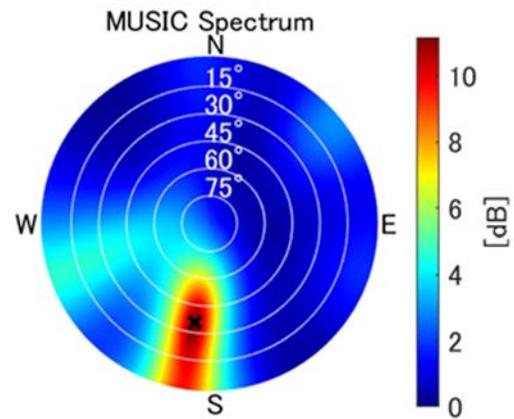


図5 信号数を2とした方向推定結果(図4と同一時刻)

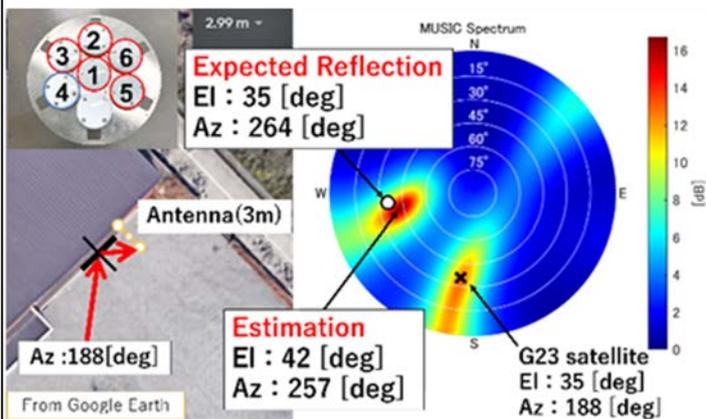


図4 マルチパス環境での方向推定結果

表1 相関行列の固有値

$E_n$	固有値 (オープンスカイ)	固有値 (マルチパス)
$E_1$	415.9	357.5
$E_2$	13.4	17.6
$E_3$	9.0	12.2
$E_4$	7.3	6.1
$E_5$	3.9	5.1

## オンライン全国大会2022報告

今年の全国大会は6月8日～10日まで、オンラインで開催されました。

例年と同様に初めの2日間はセミナーで「高精度衛星測位の現状と将来」と題して実施しました。いずれも午前9時30分からブレイクを挟んで16時30分まででした。

6月8日(水)第一日目のセミナー①は荒井 修氏(AAI-GNSS 技術士事務所)によるもので、「高精度衛星測位」の理解に必要な基本的な情報を提供し、主にGPS L1 C/A信号を中心に、衛星信号の構成、受信機の機能、測位の基本アルゴリズムについて紹介されました。搬送波位相については、その物理的意味や、アンビギュイティの問題をはじめ、基本的な処理方法について平易に説明されました。また受信機が出力するデータや測位結果に関連する用語についても適宜紹介されました。

翌日のセミナー②は岡本 修氏(茨城工業高等専門学校)によるもので、本セミナーでは、セミナー①で学んだ搬送波位相を用いた測位を利用するに当たり、知っておくべき利用上の課題や将来性を説明するとともに、応用事例が紹介されました。また、最新の衛星測位受信機の測位性能から、測位精度や測位結果の振る舞いについて説明があり、最後にみちびきが提供する補強サービスの測位性能について紹介されました。

全国大会三日目は三セッションによる研究発表会で、以下に、座長の方からのご報告を記します。

### 研究発表会第一セッション報告

座長：千葉工業大学 鈴木太郎



2022年6月10日にオンラインで開催された測位航法学会全国大会の研究発表会の第一セッションについて報告する。

#### 1. IMUによる小型船舶の姿勢推定

小松 大生(東京海洋大学)

小型船舶に搭載したGNSS、IMUのデータを統合することで、船舶の三次元姿勢を計測する手法とその評価について述べた。複数のGNSSによる姿勢計測値をリファレンスとして、1度程度の精度で姿勢が推定できることを示した。

#### 2. 都内交通事故現場におけるスマートフォンの測位性能調査

姚 凝致(東京海洋大学)

交通事故現場でのスマートフォンでの高精度測位による事故抑制のための基礎研究として、スマートフォンの生のGNSS観測データを利用した測位精度の評価を示した。複数の交差点でRTK-GNSSを真値として、スマートフォン測位の精度を示した。

#### 3. ソフトウェアGNSS受信機における擬似距離の算出方法について

長岡 賢吾(東京海洋大学)

ソフトウェアGNSS受信機の擬似距離算出の精度に関して、設定を変更した場合にどのように変化するかを調査した。ノイズバンド幅の変更や、積分時間の変更、キャリアスムージングの設定などにより、擬似距離精度が大きく変化することを示した。

#### 4. SDRによるQZSS L6単独受信機の開発

高須 知二(東京海洋大学)

QZSSのL6信号を追尾し、航法データをデコードする場合、

CSK変調により標準的なDLLやPLLでは追尾できない。本発表ではL6以外の信号を利用せずに、FFTベースの相関器を利用することでL6信号のみを用いてL6信号の追尾、航法データのデコードが可能であることを示した。

#### 5. 降雨時におけるRTK測位への影響

柳澤 亘(東京海洋大学)

国土地理院のGEONETデータを利用した降雨時におけるRTK-GNSSのFIX率が、晴天時に比較して低下することを示した。これは、RTK-GNSSはGNSS観測値の二重差をとるためほとんどの誤差がキャンセルされるが、対流圏遅延の湿潤項が影響をあたえているのではないかと推測した(学生優秀研究発表賞受賞)

#### 6. みちびきアーカイブデータを用いたCLAS衛星補強情報の容量解析

高橋 賢(広島市立大学)

QZSSのCLAS補強サービスのアーカイブデータのメッセージと内容を解析することで、衛星数増加の可能性について検討した。現在放送されているCLASメッセージの無情報ビットを有効活用した場合、およそ5機の衛星を追加できることを示した。

### 研究発表会第二セッション報告

座長：大阪公立大学 辻井利昭



第二セッションでは5件の研究発表が行われた。いずれの発表においても、口頭およびチャットで活発な議論が行われた。なお、8,9,10の発表は学生会員による発表であった。

#### 7. RTK2go.comを利用した熊本高専でのRTK基準局の運用事例

入江博樹(熊本高等専門学校)

熊本高専でRTK2go.comを利用したRTK基準局の運用事例について報告された。RTK基準局を安定して基準局を運用するにはネットワークセキュリティの設定が重要である。また、GNSS近傍の電波状況も検討する必要である。聴講者からも運用のノウハウについて助言があった。

#### 8. アレーアンテナによるGNSSマルチパスの方向推定及び誤差低減に関する研究

米山まうむ(大阪公立大学大学院)

アレーアンテナを用いて、マルチパスをはじめとした不要波の到来方向を推定し、除去することを目指した。MUSIC方により建物による反射波の方向を捉えることができた一方、DCMPによる反射波の抑制を狙った指向性制御では測位誤差の低減につながらず今後の課題となった。チャットによる質疑応答も活発であった。(学生最優秀研究発表賞受賞)

#### 9. クラウドを用いたフィールドモニタリングシステムの運用に向けた検討

塚本悟朗(サレジオ工業高等専門学校専攻科)

従来開発していたフィールドモニタリングシステムを改良し、クラウドを用いた汎用性の高いシステムを構築した。従来システムでは実現できなかったGISを用いたデータの可視化、クラウドなデータ閲覧を実現することができた。今後は、大豆や二条大麦を対象とした湿害の早期警戒システム、土壌水分観測システム、水深別温度観測システムなど他分野への応用が期待される。

### 10. CLAS 測位結果を用いた LiDAR-SLAM の精度検証手法

重藤李佳子(芝浦工業大学土木工学科)

首都高や橋梁等の上空視界を遮る構造物が密集する都市河川における船舶の自律航行には、LiDAR-SLAM による自己位置推定が有効と考えられる。上空が断続的に遮られる神田川(水道橋から浅草橋の区間)での実験により、CLAS の測位結果を LiDAR-SLAM の精度検証用の基準データとして利用できることが確認された。

### 11. 屋内外空間での SfM/MVS 効率化における

Visual Odometry の利用 中川雅史(芝浦工業大学)

構造物や屋内空間などの計測を目的とした地上 SfM/MVS では、撮影枚数が増加すると SfM 処理に必要な総当たり法での対応点抽出が劇的に長時間化する課題がある。本研究では、Visual odometry 処理によるカメラ位置姿勢推定結果を利用して画像間の対応付け行列を生成することにより、点群の品質は保持しつつ疎点群生成の処理時間を削減できることが示された。

## 研究発表会第三セッション報告

名古屋大学 大塚雄一



本セッションでは、GNSS データを用いた電離圏に関する講演が6件あった。

### 12. GNSS における 4G バンド周波数干渉の証拠 梅野 健(京都大学)

GNSS データを用いた地震と電離圏変動との関係に関する研究の経緯と現状についての報告があった。また、国土地理院が提供する電子基準点のデータを調べることにより、2016年以降、LTE(4G)が普及することにより、LTE と GNSS 電波との干渉によって電子基準点のデータに欠落が発生していたことが報告された。データの欠落は、都市部の夜間に多いことが示された。

### 13. 大地震発生前の電離圏異常の伝搬速度変化

中林 亮(京都大学)

日本全国の電子基準点で得られた全電子数(TEC)変動のデータに対し、相関解析を行うことにより、中規模伝搬性電離圏擾乱(MSTID)の伝搬特性を調べた結果が紹介された。日本で発生したM7クラスの地震の発生直前にMSTIDの伝搬速度が変化していたことが報告された。(学生優秀研究発表賞受賞)

### 14. TEC 相関解析による 2022 年トンガ火山噴火直前の電離圏異常の研究 津坂悠太(京都大学)

トンガ火山噴火が起こった2022年1月15日における日本上空の全電子数(TEC)を相関解析した結果が紹介された。4:15 UT に発生した大規模な火山噴火よりも1~2時間前の2:00~3:30 UT にトンガの方向から伝搬する電離圏擾乱が観測されたことが報告された。

### 15. GNSS-TEC と SuperDARN 北海道レーダーによって観測された 2022 年フンガトンガ・フンガハアパイ火山噴火後の電離圏擾乱の電磁氣的共役性について

新堀淳樹(名古屋大学)

2022年1月15日に発生したトンガ火山噴火に起因する電離圏変動について報告がなされた。日本上空では、電離圏変動が対流圏の大気圧変動よりも早く到達していることが示

された。オーストラリア上空の電離圏で大気圧変動により作られた電場変動が磁力線を介して北半球に伝わったことが原因である、との説明がなされた。

### 16. 2021 年 8 月 27-28 日に発生した磁気嵐時における 全球電離圏電子密度(GNSS-TEC)変動の研究

惣宇利卓弥(名古屋大学)

2021 年 8 月 27-28 日に発生した磁気嵐による全電子数の変動について報告がなされた。磁気嵐による影響として、8 月 27 日 19 UT 頃から午前側の高緯度領域において全電子数が減少し始め、時間と共に低緯度へ拡大したことが示された。この全電子数の減少は、電離圏における窒素分子密度の増大に起因するとの説明がなされた。

### 17. A study of temporal and spatial variations of plasmaspheric total electron content during magnetic storms by using the GPS total electron content data

Chen ZHIYU(名古屋大学)

GNSS データを用いて、電離圏の上部に位置するプラズマ圏における全電子数を導出する方法とともに、磁気嵐によってプラズマ圏全電子数が減少する事例が紹介された。プラズマ圏全電子数の減少は、人工衛星による観測結果とよく一致することも示され、プラズマ圏の研究にGNSS データが有効であることが報告された。

## ロボテスEXPO2022開催報告

宇宙システム開発利用推進機構 松岡 繁(本会理事)

「ロボテスEXPO2022」が福島ロボットテストフィールドにて開催(9/15・16)され、この一環として9/15午後「みちびき(準天頂衛星システム)講演会~ドローン・UGV最前線~」が、準天頂衛星システムサービス株式会社の主催、高精度衛星測位サービス利用促進協議会の共催、(一財)宇宙システム開発利用推進機構の後援、内閣府宇宙開発戦略推進事務局の協力で行われました。



講演は6件あり、85名の方が参加盛況裏に終了しました。

◎準天頂衛星システム「みちびき」の概要と最新活用事例  
内閣府宇宙開発戦略推進事務局準天頂衛星システム戦略室 出口智恵企画官

◎準天頂衛星システムの社会実装~位置情報時刻情報は社会をどのように変えるのか  
(一財)日本情報経済社会推進協会 坂下哲也常務理事

◎量産型CLASドローン「ChronoSky PF2」が実現する高精度測位ソリューション  
(株)コア GNSSソリューションビジネスセンター山本享弘氏

◎準天頂衛星みちびきの農業用ドローン活用  
東光鉄工株式会社 UAV事業部 高橋成典氏

◎みちびきとMarhy 3D Mapのコラボレーションによる自動運転とその標準化の可能性  
福島工業高等専門学校 芥川一則教授

◎農業分野における次世代ロボットの可能性について  
福島大学食農学類 窪田陽介教授

尚、ロボテスEXPO2022では、上記講演企業の公開デモの他、展示会も開催されており、詳細は次のURLでご確認願います。[ロボテスEXPO 2022 \(robotes-expo2022.com\)](http://robotes-expo2022.com)

## 誤解を理解の入口に

科学技術ライター 喜多充成(正会員)

落ちてきた石が岩に当たって音を立てたという歌詞、つまり「岩音鳴りて」だと思っていました。小学校の教室でそう主張した記憶すらあります。もちろん長大な時間経過を意味する表現と今は理解していますが、似たような誤解をしていた方も多いのではないかと思います。



誤解があったから確かな理解ができたわけではありませんが、誤解はいくつかある理解への入口のうち、たびたび人が通ることで踏み固められた小径のような存在とは言えないでしょうか。

スマホやカーナビを通じてGPS/GNSSが多くの人に身近な存在となるにつれ、これにまつわる誤解も多く見られるようになりました。以前から気になっている誤解や疑念としてざっと以下を上げてみます。

- ・GPSが現在地を教えてくれる？
- ・GPSは監視の道具？
- ・戦争でGPSが使えなくなる？
- ・GPSで地震予知ができる？
- ・スマホだけでcm精度が実現する？
- ・太陽フレアで携帯もGPSも全部ダメになる？

容易に正せる誤解もあれば、説明に手間のかかるものもあります。単に指摘しただけではがっかりされるだけでしょうから、どうせなら「今の限界はここだけど、こんな可能性があるよ」など、さらに関心を高めてもらえるような説明ができないものでしょうか。

そもそも誤解は寄せられる期待の裏返しだったりします。なんとかこれを、さらなる理解の緒にできればと考えるわけです。

\*\*\*\*\*

相手の目線に合わせやさしい言葉で疑問を解きほぐすアプローチでお手本にしたいのが、NHKラジオの人気番組「子ども科学電話相談」です。最近も殿堂入りクラスの名回答がありました。「なぜ、流れ星に願いごとすると叶うの？」という質問に、「その瞬間に思いつく願いごとは、あなたがいつも思っていることではないですか？ 思い続け、努力を重ねていけるなら、願いごとは叶うと思います」。

見事だと思いませんか。叶いますと答えるだけでは無責任な人生相談ですが、叶うプロセスの仮説提示は科学的にも見えます。またこれを緒に「短時間だけ光る」ことから発光体の微小さや地球大気との相互作用を、あるいは「普段は低頻度だが、まとめて降る時期もある」ことから太陽系小天体の分布やふるまいについて、話を広げるきっかけにもできます。そしてこうした配慮は、相手が子どもの場合に限られるものではないと思います。

ということでお願いします。教壇や職場やご家庭でみなさんが出会った「GPS/GNSSにまつわる誤解や疑念」の実例をお寄せいただけないでしょうか？ 回答とともにお知らせいただければ、なおありがたいです。今後の糧にできると思うのです。

\*\*\*\*\*

こうした取り組みが必要と感じた出来事をひとつ挙げさせてください。知床遊覧船沈没事件の続報として、地元北海道のテレビ局による1分あまりのニュース映像がYoutubeにアップされ

ていました。タイトルは『GPS航跡が陸上を通過 国の調査で判明 知床沖で沈没した観光船「KAZU I」』(HTB北海道ニュース, 2022/08/10,

[https://www.youtube.com/watch?v=byfhLONb\\_Ek](https://www.youtube.com/watch?v=byfhLONb_Ek))というものです。

大きな悲しみや怒りをもたらした大事件だけに、動画にも多くのコメントが寄せられていました。GPSにまつわる誤解のサンプルが拾えるのではないかとコメント欄を浚ってみたところ、予想どおり事実誤認や偏った意見、あるいは納得できる見解も見受けられ、まさに玉石混交の状態でした。「岩音鳴りて」ではありませんが、玉と石とがぶつかり合って音を立てているようです。

- ・船のGPSはよく知らないけど、誤差の多いのって、向きが安定しないからなのかな・・・。
- ・GPSのSA(精度劣化操作:現在は存在しない)か岩礁に近寄り過ぎてマルチパスによる精度劣化かも。
- ・断崖絶壁に近づくと空が半分ほど見えなくなりGPS電波を取得しにくくなるため、精度が下がる。
- ・GPSプロッターは連続記録じゃなくて、数分に1回の動作だから、岬を回り込む場合は陸地を通っても当たり前だと思うけどね。
- ・日常的に「岸に近すぎる場所」を航行していた可能性があるということ。そこが問題点だと思う。

いっぽう、コメント以上に気になったのが「GPSが陸上を通過」との見出しです。記事の中では運輸安全委員会のレポートをきちんと要約し紹介していますが、見出しはナビゲーション機器の不具合があったかのように思わせる表現で、そのような機器を使っていた運行会社のデタラメさを糾弾したいという意図も感じました。この見出しがあったことで、より多くの人の耳目を集めたのかもしれませんが、ミスリーディングでは？ と感じざるを得ない見出しでもあり、玉と石とのガチャガチャを助長したようにさえ思えます。

GPS/GNSSについて、誤差やその要因も含めた理解があれば、この記事の見出しは「日常的に岸近くを航行 GPS記録から判明」といったプレーンなものにできたのではないのでしょうか。であれば耳障りな音も少しは違う響きになれたかもしれません。

特効薬や即効薬にならなくとも、正しい理解を広める努力は続ける必要があると考えます。多くの方のご協力をお願いする次第です。

## GNSS サマースクール 2022

### オンライン(Zoom)開催報告

今年のGNSSサマースクールは2022年8月29日(月)～9月1日(木)の4日間オンラインで開催されました。

年初のJSTへの応募の際は、夏にはコロナも落ち着くであろうと楽観視して、準備を始めましたが、コロナは一向に沈静化の気配を見せず、拡大して行くばかりなので、急遽オンラインでの実施に変更しました。内容は6か月前に実施した4日間のGNSSオンラインスクールのコピー版としました。応募者は全世界からで、近隣のアジア諸国の他、イギリス・フランス・ドイツ・スペイン・イタリア・スイス・フィンランド・エジプト・モロッコ・カメルーン・エクアドル・アフガニスタン・ナイジェリア・ウクライナ・米国・カナダ等々、前回の約200よりも

100名増の300名、内約30名が再応募でした。しかしながら、実際の参加者は100名を超えることはありませんでした。無料ならばと、気安く登録して、忘れていたとか、選択的に聴講したとか等あったかもしれませんが、残念ながら、そこまでチェックする能力がありません。来年こそはいつもの様に対面で実施出来ればと願っています。

## ロボットカーコンテスト 2022 開催のお知らせ

日時：2022年10月22日(土)13時～  
 場所：東京海洋大学越中島キャンパス  
 詳細は <https://robot-car.jimdofree.com/>

## GPS/GNSS シンポジウム 2022 案内

会場：Zoom 会議室  
 日程：2022年10月19日(水)～10月21日(金)  
 詳細は測位航法学会ホームページに。逐次更新されます。

10月19日(水)  
 午前：スポンサー企業の事業紹介等  
 午後：シンポジウム講演会  
 1. GNSSの現状と将来  
 座長：小暮 聡(宇宙航空研究開発機構)

10月20日(木)  
 シンポジウム講演会  
 2. インドア・シームレス測位技術の現状  
 座長：中川雅史(芝浦工業大学)  
 3. GNSS受信機の最新動向  
 座長：細井幹広(アイサンテクノロジー株式会社)  
 4. 補強システム・耐妨害技術  
 座長：坂井文泰(電子航法研究所)  
 座長：久保信明(東京海洋大学)  
 5. GNSS応用技術の紹介  
 座長：喜多充成(科学技術ライター)

10月21日(金)  
 研究発表会 7件 ビギナーズセッション 12件  
 電気学会セッション：3件  
 衛星測位補強を活用するG空間技術調査専門委員会

### 測位航法学会役員 (2023年総会まで)

<b>会長</b>	
安田 明生	東京海洋大学
<b>副会長</b>	
加藤 照之	大正大学地域構想研究所
峰 正弥	
<b>理事</b>	
久保 信明	東京海洋大学
神武 直彦	慶應義塾大学
澤田 修治	東京海洋大学
曾我 広志	アクシス(株)
高橋 富士信	横浜国立大学
高橋 靖宏	情報通信研究機構
瀧口 純一	三菱電機(株)
中川 雅史	芝浦工業大学
細井 幹広	アイサンテクノロジー(株)
浪江 宏宗	防衛大学校
福島 荘之介	電子航法研究所
松岡 繁	(一財)宇宙システム開発利用推進機構
<b>監事</b>	
初本 慎太郎	(株)日立産機システム
北條 晴正	センサコムコンサルティング

## イベントカレンダー

### 国内イベント

- ・2022.10.18 xDR ワークショップ2022 ハイブリッド
- ・2022.10.19-21 GPS/GNSS シンポジウム 2022 オンライン
- ・2022.10.22 GNSS ロボットカーコンテスト(東京海洋大)
- ・2022.10.25-27 IWAC2022 (東京・電子航法研究所主催)
- ・2022.11.01-04 宇宙科学技術連合講演会(熊本)
- ・2022.11.11-12 日本航海学会秋季講演会(広島)
- \* 太字は本会主催イベント**

### 国外イベント

- ・2022.10.09-14 ICG-16 (Abu Dhabi, UAE)
- ・2022.10.18-20 FIRA USA 2022 (Fresno, USA)
- ・2023.01.23-26 ITM/PTTI 2023 (Long Beach, USA)
- ・2023.03.13-15 Munich Satellite Navigation Summit
- ・2023.05.23-25 ENC 2023 (Amsterdam, The Netherland)
- ・2023.06.21-23 TransNav2023 (Gdynia, Poland)

## 編集後記

いつの間にか9月も終わりになっていました。時の刻みの速さに驚いています。  
 今回のニュースレターは、津波による電離圏擾乱と言う面白いお話から、測位技術者の人材育成、隣のおじさんお婆さんの測位関連の疑問点・・・等々と幅広く掲載してみました。是非、秋の夜なべを楽しまれて下さい。  
 そして、いよいよGPS/GNSSシンポジウム2022も開かれます。ふるってご参加下さい。

ニュースレター編集委員長 峰 正弥

## 入会のご案内

測位航法学会は測位・航法・調時に関する研究開発・教育に携わる方、これから勉強して研究を始めようとする方、ビジネスに役立てようとする方、測位・航法・調時に関心のある方々の入会を歓迎いたします。皆様の積極的なご加入とご支援をお願い申し上げます。  
 お申し込み：測位航法学会入会のページからお願いいたします。(http://www.gnss-pnt.org/entry/)

会員の種類と年会費：

- ★ 正会員【¥7,000】
- ★ 学生会員【¥1,000】 賛助会員【¥50,000】
- ★ 法人会員【¥80,000】 特別法人会員【¥300,000】

★ 特典：ニュースレターの送付(年4回)、全国大会・シンポジウム等における参加費等の減免、MLによる関連行事等のご通知・ご案内のお問い合わせは：  
 info@gnss-pnt.org にお願ひします。



ロボットカーコンテスト2019

コロナ前を懐かしむ写真集

左上:2019全国大会セミナー  
 左下:GPS/GNSSシンポジウム2019  
 ポスターセッション  
 右下:同展示会場