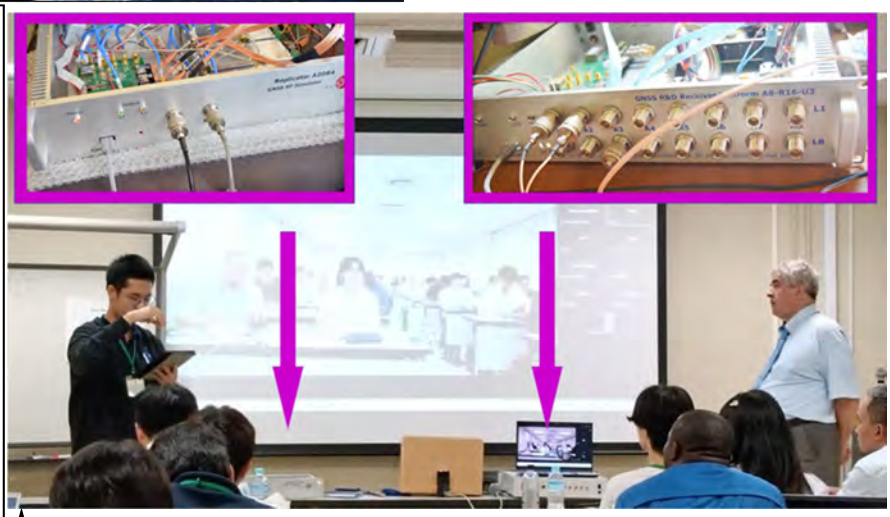
NEWSLETTER OF IPNTJ

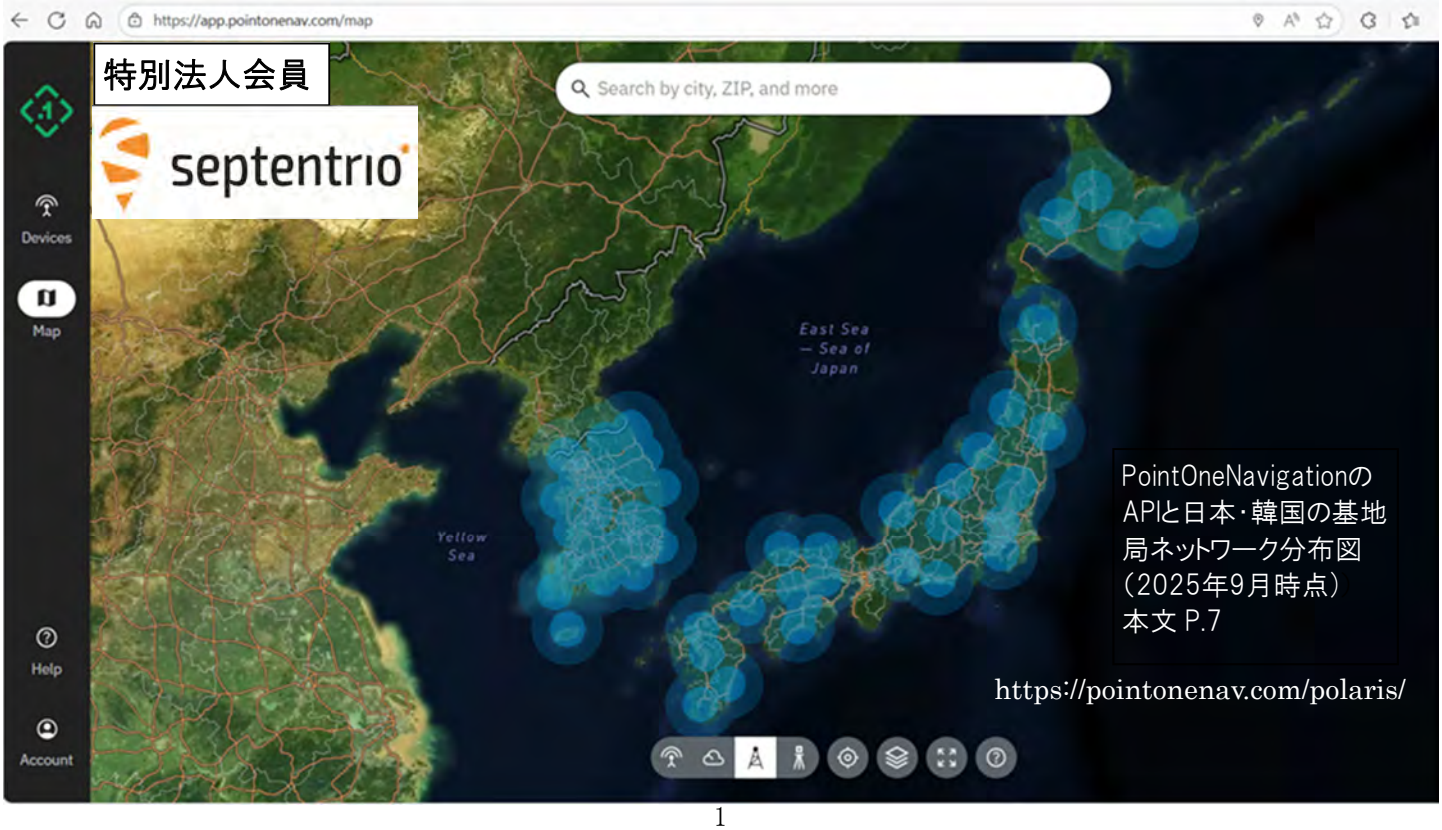
測位航法学会ニューズレター　Vol. XVI No.3　2025年10月10日　IPNTJ

測位航法学会
ニューズレター
第 XVI 巻第3号

目　次



企業ゲーム：優勝チームが自分たちのプロジェクトを発表。挿入写真はカバーを開けた状態で撮影した GNSS RF シミュレーターと、L1 または L2/L5 用に割り当て可能な 16 系統の RF アンテナ入力を備えた SDR 受信機開発プラットフォーム。P.5-6 参照　右端. イワン・ペトロフスキー博士



PointOneNavigationのAPIと日本・韓国の基地局ネットワーク分布図（2025年9月時点）
本文 P.7

https://pointonenav.com/polaris/

GPS/GNSS気象学 GNSSサマースクール2025講義概要

東京大学先端科学技術研究センター　小司禎教(正会員)

1. はじめに

米国のGPS(Global Positioning System)等，GNSS(Global Navigation Satellite System，全球測位衛星システム)は，カーナビやスマホの位置情報アプリなど，私たちの暮らしに浸透している．cmレベルの測位精度を追求する精密衛星測位にとって，大気による電波の遅れは克服すべき誤差因であり，推定技術の研究開発が続けられてきた．その結果，精密衛星測位解析の際に推定される中性大気による電波の遅れの量(大気遅延量)が，気象学や天気予報に供する精度を有するに至り，現在ではGNSSは，大気のリモートセンシング技術としても実利用されている．

ここでは，GNSS測位の原理，GNSS大気計測の原理，実利用されている技術を中心にGNSSによる大気計測について，概要を紹介したい．

2. 精密GNSS測位の仕組み

精密GNSS測位の分野では，大気による測位への影響を評価し，測位精度を向上させる研究開発が取り組まれてきた．そこでまず，精密GNSS測位の仕組みと誤差因をどう処理してきたか，簡単に振り返る．

座標が既知の2点からの距離を利用し，対象点の位置を決定する手法を三辺測量と呼ぶ．GNSSは座標が既知の測位衛星からの距離を利用し，宇宙規模の三辺測量によって受信機の位置を求める．衛星と受信機間の距離は，衛星から送信された電波(搬送波)が受信機に到達するまでに要した時間(TOA：Time of Arrival)に光の速度を乗算することで得る．搬送波は衛星の識別符号や電波の送信時刻など，測位に必要な情報(疑似乱数(PRN: Pseudo-Random Noise)コードと航法メッセージ)で変調されており，利用者はこの情報を解読することでTOAを得る．

上記の変調コードに含まれる情報を用いた測位の精度は数mである．水蒸気情報を精度よく得るためにはcm級の測位精度が必要で，そのためには「搬送波位相」と呼ばれる物理量を用いた精密測位を行う．

時刻tに受信機rで衛星sからの電波を受信した場合，搬送波位相は下式で定義される．単位はサイクルである．

$$\emptyset_r^s[t] = \emptyset_r[t] - \emptyset^s[t] + N_r^s \quad (1)$$

ただし，

$\emptyset_r[t]$ ：受信機内部の発信器で生成された衛星電波と同一周波数信号の位相

$\emptyset^s[t]$：衛星 s から入射した衛星電波の位相

N_r^s：波数不確定（整数値バイアス）

式(1)の右辺第1，2項には，観測開始以後の衛星と受信機間の距離の変化の情報が含まれる．一方で観測開始時の衛星と受信機間にどれだけの波数が含まれていたかは不明であり，右辺第3項に波数不確定として記述する．

搬送波位相に波長λを掛けると，長さとなり，以下のようにモデル化する．

$$\lambda\emptyset_r^s[t] = \rho + c(\delta_r[t] - \delta^s[t]) - I + STD + \lambda N_r^s \quad (2)$$

ここで，

ρ：衛星と受信機間の幾何学的距離

$\delta_r[t]$：受信機の時計誤差

$\delta^s[t]$：衛星の時計誤差

I：電離層遅延（天頂方向で 1~10m 程度）

STD：中性大気による遅延（Slant Total Delay,天頂方向で2.5m程度）

このうち，衛星及び受信機の時計誤差は，複数受信機による複数衛星からの搬送波位相測定量をお互いに差し引く(二重位相差)ことで相殺する，あるいは精密単独測位(PPP: Precise Point Positioning)という手法では，衛星時計誤差をあらかじめ解析し，受信機時計誤差は未知パラメータとして推定する．

電離層では電波の速度が波長に依存して変わる分散性を有するため，電離層での遅延はほぼ周波数の二乗に反比例する．この性質を利用し，GNSS衛星から送信される2つ以上の周波数の電波の線形結合(電離層フリー線形結合と呼ばれる)を観測量とすることでほとんど消去することができる．

中性大気遅延は，誘導双極子(N_2, O_2等)や永久双極子(H_2O等)内を電磁波が通過する際，双極子から電磁波が再放射され，その過程に遅れが生じることで発生する．真空中の光速を大気中の速度で割った値を屈折率(n)と呼び，気温，乾燥空気の分圧，水蒸気分圧の式で表される．誘導双極子も永久双極子も一般に大気の下層ほど密度が大きいため，屈折率は下層ほど大きくなる． Fermatの原理(2点間を通過する光は，通過に要する時間が極小になる経路を取る)に従い，大気を斜めに通過してくる電波は，わずかに地球中心に向かって偏向し，直線経路より長い経路を通って受信機に到達する(図1)．STDは電波経路に沿った屈折率の積分で，長さの次元を持つ．

$$STD = \int_S (n-1)ds + [S - G] \quad (3)$$

式(3)の右辺第1項は大気中での電波の減速効果，第2項は電波経路の湾曲効果である．

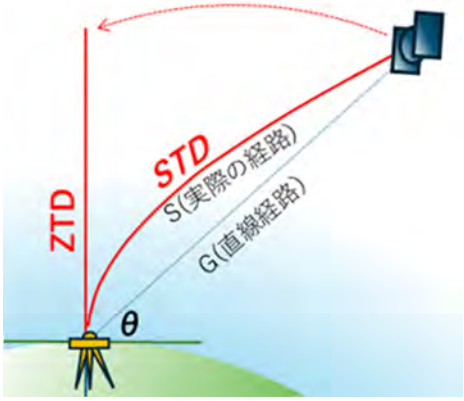


図1　電波の経路　大気遅延量及びマッピング関数を説明するイメージ図

精密衛星測位解析では，観測した搬送波位相と観測モデル(式(2))から，最小二乗法やカルマンフィルターなどを用いて未知パラメータ(観測点位置，中性大気による遅延，波数不確定，(PPPの場合は)受信機時計誤差)を推定する．

ただし，中性大気による遅延については，STDではなく天頂方

向の遅延量(ZTD: Zenith Total Delay)を推定する. STDとZTDの関係はマッピング関数と呼ばれる換算式によって記述される. これは, 水蒸気の時空間変動が大きいことから, 複数の衛星に対するSTDを推定する場合, 未知パラメータが多くなり, 安定した精密測位解析につながらないためである. ZTDに問題を置き換えることで, 観測衛星数の数によらず, 中性大気に関する未知パラメータは1つのみとなり, また経路の湾曲の効果は考慮が不要となる. ただし, マッピング関数の精度が測位精度を左右するため, 衛星測地学の重要な研究分野であり, 多くの関数が提案されてきた.

最も単純なマッピング関数として1/sinθ(θは衛星仰角)があげられる.

$$STD = ZTD/sin\theta \qquad (4)$$

式(4)の場合, 仰角が低いほどSTDは過大に評価される. そのため, Niell (1996)など, 連分数を用いるマッピング関数が良く使われている.

$$STD = ZTD \cdot \frac{1+\frac{a}{1+\frac{b}{1+c}}}{sin\theta+\frac{a}{sin\theta+\frac{b}{sin\theta+c}}} \qquad (5)$$

係数a,b,cは, 標準大気モデルや高層ゾンデ観測で得られた屈折率の高度プロファイルを用いた波線追跡によって決める. Niell (1996)は, 標準大気モデルと世界各地の高層ゾンデ観測データを用いて, 係数a,b,cを緯度, 高度と年通算日の関数として表した. 気象の観測データが不要で, 測位解析への実装が容易であるため, 多くの測位解析プログラムで採用された. さらにBoehm et al., (2006)は欧州中期気象予報センター(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)の40年再解析データであるERA40を用いて, 経度依存性も加えることに成功した.

上記のマッピング関数は, 水平方向には屈折率が一様という球対称の仮定の下, 構築されている. MacMillan (1997)は屈折率の一次勾配を考慮したマッピング関数を提案した. これによって前線の通過等, 水平方向の屈折率勾配が強い場合の, 測位誤差の軽減効果が確認されている.

これらの研究の成果により, GNSS測位精度とともに, ZTDの推定精度も向上してきた.

3. 地上・海上でのGNSS観測による大気計測

ZTDは, 乾燥大気による遅延(ZHD, Zenith Hydrostatic Delay)と水蒸気による遅延(ZWD, Zenith Wet Delay)の和として定義される(Boudoris 1963). さらにZHDは気圧, 緯度, 高度の関数で表すことができ(Elgered et al., 1991), ZWDは鉛直積算水蒸気量(IWV, Integrated Water Vapor)と比例関係にある. Bevis et al., (1992)が, 地上気温を用いた比例係数の推定手法を提案したことから, GNSS解析で推定したZTDと気圧, 気温から, IWVを求めることが可能となった.

水蒸気は凝結の際に潜熱を放出することで雲を発達させ, また水蒸気が凝結してできた雲粒が衝突・併合を繰り返すことで雨粒に成長する. 水蒸気は降水現象の理解, 予測に重要な役割を果たす. さらに水蒸気は温室効果気体として, 地球環境に影響を与えるため, 長期間の変動監視も重要である. 一方で, 地球大気内の温度環境で気体・液体・固体と相変化することなど, 時空間変動の大きい大気中の水蒸気観測は現在でも十分とは言えない.

GNSS測位解析では, 測位精度の向上とともに, ZTDの推定精度も向上し, 高層ゾンデによるIWVの直接観測と高い一致

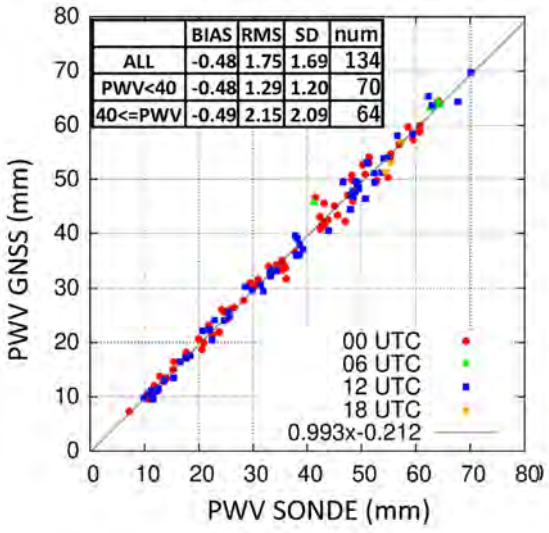


図2 船上での高層ゾンデ観測(x軸)によるIWVとGNSSによるIWVの比較(Shoji et al., 2023, Fig. 6b). 図中のPWVは可降水量(PWV, Precipitable Water Vapor)でIWVと同義.

度を示すに至った(図2). 米国の測地学者M. Bevisほか(1992)は, 世界で初めて衛星測位システムを用いた大気水蒸気のリモートセンシングであるGPS気象学を提唱した. 日本では科学技術振興調整費「GPS気象学(1997-2001年度)」において, 測地と気象の研究者, 技術者が協力し, 国土地理院が運用する世界的にも高密度なGPS連続観測網であるGEONET(GPS Earth Observation Network System, 2012年度よりGNSS Earth Observation Network System)から水蒸気情報を解析し, 気象, 測地両方にとり, 多くの成果を上げた(小司ほか2009). 気象庁では2009年10月より, GEONETから推定したIWVを現業の数値予報に利用している(https://www.jma.go.jp/jma/press/0910/27a/MSM_GPS.htm). また, 最新の数値気象予報システムに, 過去の気象データを活用することで, 過去の大気の状態を再現する「再解析」という取り組みが世界的に取り組まれている. 1990年代半ばより展開されてきた国内外のGNSS観測網データは, 気象庁第3次長期再解析(JRA-3Q)においても利用されている(Kosaka et al., 2024). さらに地域気象データと先端学術による戦略的社会共創拠点(ClimCORE)で推進する日本域気象再解析(Nakamura et al., 2022)においては, GEONETの再処理により均質な精度でのIWVデータを整備し, 5kmという高い空間分解能の再解析への貢献を目指している.

これまでの説明は, 陸上に設置した固定のGNSS受信機を前提に行ってきた. 測位衛星がGPSのみで, 衛星の軌道情報の精度も現在ほど高くなかった2000年代前半までは, GNSSによる水蒸気解析は固定観測点を対象としていた. 移動体の場合, 観測点座標を時間変動する未知パラメータとして扱うため, ZTDと同時に安定して推定することは困難であった. 2010年以後, ロシアのGLONASS, 欧州のGALILEO, 日本の準天頂衛星(QZSS, Quasi-Zenith Satellite System)等, 米国以外の衛星測位システムが実用化され, 衛星軌道の精度も向上したことから, 船舶等移動体に搭載したGNSS受信機でも, 地上固定点に匹敵する精度でIWVの解析が可能となった(Shoji et al., 2023, 図2). この移動体搭載GNSS受信機による水蒸気推定は, 3つの技術革新によって可能となった. 一つ目はリアルタイムで衛星の軌道を解析するMADOCA(Multi-GNSS Advanced Demonstration tool for

Orbit and Clock Analysis)(Kawate et al., 2023)の実用化，二つ目はQZSSによる測位信号としてのMADOCAの送信である．MADOCAが大気解析にも十分な精度を有すること，またQZSSからその情報が得られることから，利用者はインターネットにアクセスせずとも，高精度の移動体測位に必要な情報を得ることができる．三番目として，受信したMADOCA等，リアルタイムの軌道情報を用いて，リアルタイムに精密測位解析を行う技術の革新で，オープンソースのRTKLIB(Takasu 2013)等があげられる．

近年の豪雨災害の激甚化を受け，気象庁は海上での水蒸気観測を強化している．2021年には海洋気象観測船に搭載したGNSS受信機による海上水蒸気観測を開始し，現在では民間船舶の協力も得て16隻体制の観測を行っている(気象庁 2023)．

4. GNSS電波掩蔽法

GNSSが天気予報などの実利用に貢献しているもう一つの重要な技術がGNSS電波掩蔽(GNSS RO, GNSS Radio Occultation)法である．

地球表面から高度2000km以下を周回する低軌道衛星(LEO, Low Earth Orbit)にGNSS受信機を搭載し，GNSS衛星からの電波を受信する．大気の屈折率は一般に下層ほど大きいので，GNSS電波が大気を伝播する際，地球の中心に向かって曲げられる．例えば図3のようにLEOからみて徐々にGNSS衛星が地平線に没していく場合，宇宙空間では電波は直線経路をたどるが，地球大気内部では電波の通過する高度が低くなるほど，電波の曲がり(屈折角α)と遅延量が大きくなっていく．

この屈折角αは，電波経路の接線方向に対する屈折率の空間勾配を経路上で積分することで得られる．

$$\alpha = \int \frac{1}{n}\left(\vec{T} \times \nabla n\right) ds \qquad (6)$$

ここで，

$\vec{T}$：電波経路の接線方向単位ベクトル

屈折率勾配の空間分布がわかれば，GNSS衛星から送信された電波の経路が求まり(レイトレーシング)，式(3)により遅延量が決定できる．逆に，屈折率分布の初期値が与えられれば，レイトレーシングを大気の最上層から初めて，GNSS解析で得られた遅延量に整合するよう，初期値の屈折率分布を修正することができる．ただし，GNSS衛星とLEOを結ぶ経路となるよう，反復計算が必要となり，計算コストが問題となる．

大気屈折率が水平方向に一様な球対称であると仮定すると，鉛直方向のみに屈折率勾配が存在する．この場合，反復計算せずとも，GNSS解析で得られる遅延量の時間変化から屈折角αが求まる．さらにAbel変換(Fjeldbo et al., 1971)を用いて，屈折角を大気上層から順次積分することで屈折率の鉛直プロファイルを得ることができる．2節で述べたように屈折率は，気温，乾燥空気の分圧，水蒸気分圧の関数だが，数値気象モデルや気候値等外部の情報を用いて乾燥大気の寄与と水蒸気の寄与に分離できれば，気温と水蒸気量の鉛直プロファイルが得られる．

1995 ～ 1997 年，米国の GPS/MET プロジェクトは，MicroLab1と呼ばれる小型LEOにGNSS受信機を搭載し，GNSS掩蔽法の実証実験を行った．その結果，約1kmの鉛直解像度で，対流圏海面付近の気温の誤差が0.5℃未満という成果を得，GNSS掩蔽法の能力を証明した(Ware et al., 1996)．

GNSS掩蔽法は，海陸の別なく，全球で均質な密度での大気プロファイルを提供する．気象庁では2007年3月にGNSS掩蔽データの現業数値天気予報への利用を開始した．世界の数値予報センターでもバイアスの少ない観測データとして利用されている．GNSS掩蔽データは気象再解析においても重要で，欧州中期気象予報センター(ECMWF, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)の第5次再解析(ERA5)において，下部成層圏の気温バイアスの改善に寄与していることが報告されている(Simmons et al., 2020)．

5. まとめ

GNSS気象学について，気象業務に実利用されている技術を中心に，概要を紹介した．誤差因として，測位精度向上のために研究されてきた大気遅延量の推定技術が，気象研究や天気予報に貢献している．立場によってノイズはシグナルに変わり得るという，研究や技術開発の進め方にも示唆を与える．

実用に至っていない研究段階の取り組みも多いが，紙面の都合上紹介できなかった．視線方向の遅延量を利用した，水蒸気の3次元構造の再現(トモグラフィー)や，豪雨や突風の監視に関する研究も，GNSS気象学の初期段階から取り組まれている．LEO搭載GNSS受信機による海上風の推定プロジェクトであるCYGNSS(https://cygnss.engin.umich.edu/)，偏波情報を利用して屈折率に加えて雨粒の観測を行うrohp-PAZ(https://paz.ice.csic.es/introduction.php?idi=EN) など，比較的新しい研究も創出されている．

また，民間の活動も活発に行われている．例えばLiGHTHOUS technology & consulting は可降水量データの配信サービスを行っている(https://lighthousetc.jp/service04.html)．NTT やソフトバンクは独自 GNSS 観測網を展開し，ソフトバンクの観測網は，学術利用コンソーシアム(https://csess.jp/)による利用も行われている．米国 spire 社等民間による GNSS 掩蔽サービス(https://spire.com/spirepedia/gnss-ro-gps-ro/)も始まっている．

GNSS は全天候下で利用可能で，他のノイズ要因を正しく処理すれば経年で精度が変化することがないという，気象センサーとしても優れた特質を有している．本稿の一部でも読者の興味を引くものがあれば幸いです．

謝辞

本研究の一部は JST 共創の場形成支援プログラム JPMJPF2013 の支援を受けました．

引用文献

P.10 右列中段に続く。

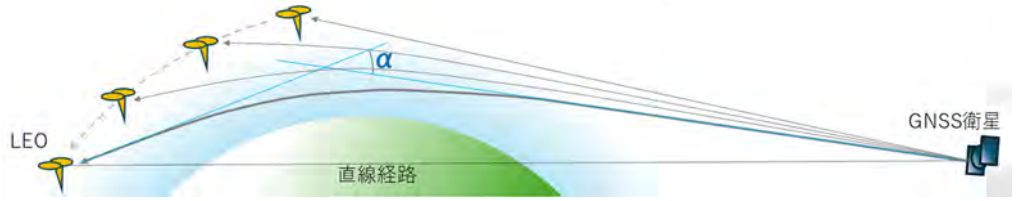


図 3 GNSS 電波掩蔽法イメージ(伝搬の曲がりは誇張している)

GNSSサマースクール2025実施報告

1. はじめに

2013年以来、測位航法学会を中心として実施してきたGNSS国際サマースクールは2015年からは東京海洋大学の事業として、科学技術振興機構(JST)のさくらサイエンスプログラムのプロジェクトに採択され、コロナ禍の時期を除いて、一昨年まで海外からの大学院生や若手の研究者を日本に招いてGNSS技術の勉学の機会を与えてきました。ところが昨年2024年は不採択で、オンラインでの開催となりました。今年も引き続き不採択となりましたが、オンラインでの実施ばかりでは、実施する側は諸作業や手続き等のスムーズな運営が困難になること、受講生は講義への集中力の欠如はもとより、受講生同士の交流の機会が失われること、講師の先生方は受講生の反応を見ながらのメリハリのある講義を実施出来ないなどの問題点が明白になり、会場での実施に踏み切りました。

2. 参加者

先ずはJSTに推薦した12名(2025年からは科学技術研修コースの上限)へのおわび状の発信です。結果としては内4名が自費参加されました。その他、当初から自費参加を表明していた人々と、日本からの参加者を含めて23名が参加登録をしていたところに、MGA(Multi-GNSS Asia)関連の表彰の対象となったグループへのご褒美として、サマースクールへのご招待として17名の受け入れ依頼があり、計40名での実施となりました。

参加者の国別では、タイ13名、マレーシア4名(いずれもMGA関係)、中国人7名(主に香港から)、日本人6名、台湾2名、以下1名ずつが、カメールーン、モーリシャス、ロシア、アルゼンチン、インド、インドネシア、パキスタン、米国です。内5名は日本在住です。女性は11名、ドクターの学生を含めて学生は18名で、内高校生が3名でした。これはMGA関係で、サマースクール史上、高校生が入るのは初めてのことでした。はじめは戸惑っていた様ですが、必死に食らいつく姿はさすがで、受賞に値する学生かと思いました。

3. 会場・日程

後先になりましたが、会場は2023年と同じ東京海洋大学越中島会館セミナー室で実施しました。定員は40名ですので満室でした。期間は2025年9月1日～6日、月曜日から土曜日までの6日間です。これまでは大学の授業時間に合わせて、一コマ90分を5コマでやって来ましたが、講義する側も受講生もきついのではと言う意見が出て、今年は一日4コマで実施しました。評価はまだ公表されていません。

4. プログラム概要

1日目は簡単なプログラムの紹介の後、A-I,2,3でGNSSの概要とGNSS受信機について詳しく解説されました。

2日目はB-I,2,3でGNSS測位プログラムについて学んだ後に、特別講義1として「GNSS信号の認証」がありました。

3日目のクラスC-I,2,3ではGNSS信号と受信機について学びました。

4日目はB-4,5としてGNSS精密測位について学んだ後に、RTKLIB実習を行いました。午後は2班に分かれてseptentrio GNSS受信機実習とキャンパスツアーを交互に行いました。

5日目の午前は特別講演2としてスポンサーの古野電気株式会社から時刻同期における古野GNSS受信機の最新動向とArkEdge Space社からLEO-PNTの概念紹介がありました。次いで特別講義3としてQZSSみちびき概要が内閣府からありました。午後からはシステム設計講義とワークショッが実施され、7グループに分かれて、グループディスカッションが行われ成果発表会では大いに盛り上がりました。

6日目は3件の特別講義として、GPS/GNSS気象学(P.2-4)、GEONET- CORS in Japan、GNSS and Space Law(P.9-10)の後、参加者による3件の発表があり、最後に修了証を授与して閉会となりました。

以下、講師の先生方の実施報告、受講者の方からいただいたご感想を掲載します。

東京国際GNSSサマースクール2025 講師報告

ip-solution イワン・ペトロフスキー(正会員)

初日の講義を担当し、GNSS理論と実際の応用についてお話ししました。

今年は新しい機材を持ち込みました。マルチ周波GNSSシミュレーターと、マルチ周波・マルチアンテナ対応のSDR GNSS受信機プラットフォームです。いずれも私が開発し、**IP-ソリューション人工衛星アプリケーション**株式会社から本スクールに提供したものです(www.ip-solutions.jp)。教育と産業グレードのツールを直接結び付けることができ、今回の講義の大きな強みとなりました。

喜多充成氏(科学技術ライター)には、機材の設営やビデオ記録において多大なご尽力をいただきました。また、受講生の一人名城大学の学生・新美大樹氏にも有益なご助力をいただきました。厚く御礼申し上げます。

講義内容は、2024年にSpringerから出版された拙著 The Ionosphere with GNSS SDR に基づいており、最新の資料と図解を活用しました。

講義1:GNSSの原理

第一時限目の講義はGNSSの基礎を概観しましたが、経験豊富な専門家にとっても興味深い点が含まれており、特に学生には大いに受けました。

電離層誤差と「光速超過」問題

コード測位を決めるのは群速度、キャリア位相を決めるのは位相速度です。キャリア位相は対流圏で遅延し、電離層では進みます。このコードとキャリアの違いは基本的であり、キャリアを用いたコード平滑化の持続時間に制約を与えます。さらに興味深いのは、キャリアが電離層を光速よりも速く伝搬するように見える点です。過去の研究で示したように、この効果は同種の変調方式の全ての信号に現れますが、測位に直接使われるのはGNSSキャリアだけであり、相対性理論との明確な矛盾を示します。

ECEFとコペルニクス、プトレマイオス、アインシュタイン

我々は多くの応用でECEFを主座標系として用います。これは事実上プトレマイオスの天動説(geocentric model)と同じであり、コペルニクスが提示した地動説(heliocentric model)によって覆されました。アインシュタイン自身(Einstein & Infeld)は、相対性理論はコペルニクス系とプトレマイオス系のどちらが正しいかに絶対的な違いを与えないと述べています

講義2:GNSS受信機技術

第二時限目の講義ではGNSS受信機を扱い、いくつかの誤

解について議論しました。

当日のGNSS受信機はすべてSDR受信機です。これはジョー・ミトラ(Joe Mitola)の定義によるもので、ソフトウェアにより再構成・再設定できる受信機を指します。今回のサマースクール、そして私の講義では、ほぼすべてがSDR受信機に関する内容でした。重要なのは、現在のソフトウェア受信機は、いわゆる「ハードウェア受信機」と誤解されてきた従来型受信機と、まったく同じアルゴリズムを実装できるという事実です。むしろ「従来型受信機」と呼ぶ方が正確でしょう。

さらに言えば、それらの多く、いやほとんどすべてが、実はミトラの定義によるSDRに該当します。ASICで実装されたものも、FPGAで構成されたものも、再プログラム可能な更新機能を備えています。一般の利用者が日常的に行っている「ファームウェア更新」も、実際にはSDR受信機を再プログラムしていることに他なりません。

私は、これまでIP-ソリューション 人工衛星アプリケーション株式会社で開発してきたSDR GNSS受信機の幅広い例を紹介する機会を得ました。最小の例は、バンガー大学と共同開発した小型の鳥類追跡用GNSS受信機で、私が開発した即時測位技術 BGPS™(20ms TTFF)を搭載しています。最大の例は、ラックマウント型の大規模な開発プラットフォームです(写真挿入参照)。**このプラットフォームは当社により開発され、多周波差分GNSS、CRPA、姿勢決定などの研究に利用可能です。また、超タイト結合GNSS-IMUの研究にも対応できます。**一般的なハードウェアでは遅延のため不可能な研究です。現在、このプラットフォームはISROを含むいくつかの機関で使用されています。

さらに時間の都合でごく簡単にしか触れられませんでしたが、カスタム相関器設計、**ストローブ相関器やダブルデルタ相関器**、100チャネル以上のマルチ相関器、最近私が開発したスプリットビーム電離層シンチレーションモデルなども紹介しました。これらも同じプラットフォームで利用可能です。

講義3:シミュレーター要求仕様ゲーム

三時限目の講義では企業スタイルのゲームを行いました。学生は4グループに分かれ、GNSSプロジェクトを定義し、そのために必要な高性能シミュレーターの仕様を策定しました。

デモでは、ISROでも使用されているIP-ソリューション 人工衛星アプリケーション 株式会社製の高性能GNSSシミュレーターを使用しました。GPS L1/L5、NavIC L5/S、Galileo E1/E5a/E5b、SBAS L1/L5、QZSS、GLONASS G1/G2/G3、BeiDou B1/B2 を含むデュアルビークル信号を生成しました。

学生たちは現実的な挙動を体験しました。真値位置周辺のサブメータ散布図、0.1 dB単位の出力制御などです。

各グループは自分たちの仕様を発表し、他のグループは反論を行いました。優勝したのはRTKネットワーク用基準局網のプロジェクトでした。他の提案も非常に独創的で興味深いものでした。勝利チームには、最高に美味しい日本のクッキーが贈られました。

今回の一連の講義は、教育と産業グレード技術を結びつける有効性を示しました。学生は熱心に取り組み、非常に良い反応を得られました。

日本で設計・製造されたこれらのツールが、すでにJAXA、ISRO、ESAといった国際プロジェクトに貢献していることを改めて思い出させる機会となりました。

サマースクール クラスC実施報告

千葉工業大学 鈴木太郎(正会員)

東京海洋大学越中島キャンパスにおいて開催されたInternational GNSS Summer School 2025において、「GNSS Signal and Receiver」というタイトルでGNSS信号と受信機技術に関連する基礎的内容の講義を担当しました。昨年度はバーチャル開催だったため、2023年以来の対面での開催です。今回、私は3コマの講義を担当することになりました。以前のサマースクールでは3コマのうち1コマは実習を行っていたのですが、より基礎的内容にフォーカスすることを考え、全て座学とすることにしました。それに合わせて3コマ分の講義を、よりわかりやすい講義となるように再編成しました。

講義では、まずGNSSの基礎として、GNSSの観測値の詳細や様々な測位手法、そしてGNSSの一般的な課題について説明しました。その後、それぞれの衛星の測位信号について説明し、信号の構造や周波数、変調方式について説明しました。GNSS衛星から送信される信号はどのようにして生成されているのかを、実際のGPSのL1 C/A信号を例として解説しました。次に受信側のフロントエンドでは、どのようにしてアンテナから入力されたRF信号をデジタル化するかについて学びました。さらにデジタル化された後のベースバンド信号処理として、GNSS信号の捕捉、追尾、ナビゲーションデータのデコード、擬似距離の計算、測位演算と、実際のGNSS信号処理の流れに沿って説明しました。これらの信号処理をわかりやすく学ぶために、本講義ではMATLAB/Simulinkを用いたサンプルコードを用いました。Simulinkではブロック線図のように処理を記述できるため、プログラムの解説をするよりも視覚的にわかりやすく信号処理を把握できます。このSimulinkを利用して、測位コードの生成や信号の相関処理、信号の捕捉から追尾例などをデモンストレーションし、理解を深めました。最終的にはSimulink上で動作するソフトウェアGNSS受信機を用いて、測位計算が正しくできることを示しました。また、講義の最後には、実際のソフトウェアGNSS受信機の応用例として、GNSS信号の相関結果からマルチパスを検出する研究例を紹介しました。

3コマの非常に長い講義でしたが、講義中や休憩時間にも多くの質問があり、受講者は非常に積極的に参加していました。講義をしていても非常に真剣に取り組んでいるのが感じられました。今回の講義の結果をフィードバックし、より良いわかりやすく価値のある講義ができるように、さらに工夫を重ねていきたいと感じています。

サマースクール講師報告

東京海洋大学 小林海斗(正会員)

2025年9月1日から6日の6日間に渡って行われた測位航法学会のサマースクールに講師および実習補助として参加しました。

まず3日目にはPocket SDRの機能紹介を行いました。Pocket SDRのハードウェア、ソフトウェアの特徴や購入方法を紹介した

上で、実際にPocket SDRで取得したIFデータを再生する形でGUIアプリで信号追尾の状態や測位結果を見てもらいました。Pocket SDRは最初からソフトウェア、ハードウェア共にオープンソースでしたが、ハードウェアに関しては1年ほど前にDATAGNSSという会社が完成品を販売するまで試作品をいただくか自作する必要がありました。現在では4ch版が4万円ほどで購入可能で8ch版も近々購入可能になるとのことなので、海外の方にも手にとって見て欲しいと思います。

4日目の午前中にはRTKLIBの紹介を行いました。RTKLIBは高須先生の最新版(2.4.3 b34)からすでに5年が経ち、新しい衛星や信号が追加された観測データに対応できなくなっているため近年ではコロラド大学のTim Everett氏によって独自改良されたrtkexplorerのバージョンを使用して教えています。特にubloxのF9Pの後継であるX20Pという受信機が今年リリースされたため、これに対応したrtkexplorer版の使用が今後必須になっていくと思われます。今回は後処理で用意したデータのRINEX変換、単独測位、DGNSS測位、RTK測位を行ってもらいました。またRTKNAVIでリアルタイムの実演も行いました。

4日目の午後にはSeptentrioのJan氏からmosaic-x5の紹介と実習があり補助をさせていただきました。実習ではPointOneというRTK基準局サービスからNTRIPでRTCM補正データを取得し、受信機に入力するという作業をRX ToolのData Linkを使用して行いました。今回は屋内での再放射がなかったため実際に測位はできず参加者にはわかりにくかったかもしれませんが、Data Linkの使い方には慣れてもらえたと思います。Data LinkはRTKLIBのstrsvrと類似の機能を持っており、使いこなせれば非常に有用です。

mosaic-X5を用いたハンズオンシステム構築

Septentrio社 Jan de Turck(正会員)

最初に、セプテントリオ社の概要についてご紹介しました。高精度GNSS受信機の価格は過去10年間で約1/50にまで低下しており、今後さらなる普及が期待されます。しかし、アプリケーション開発がその進展に追いついていないのが現状です。最近では、ロボット芝刈り機やロボット草刈り機などの分野で高精度GNSSの活用が進み始めており、屋外ロボット市場のポテンシャルは非常に大きいことを強調しました。海外事例として、EcoRobotix(スイス、ピンポイント散布ロボット)やCapra Robotics(デンマーク、清掃ロボット)を紹介しました。

続いて、実際に高精度GNSSシステムの構築をハンズオン形式で体験していただきました。

受信機とWindows PC・Raspiの接続

今回はmosaic-X5の簡易評価キットを使用し、受信機とPC・Raspiの接続方法を解説しました(図1参照)。

NTRIPアカウントの作成と設定

補正情報の取得にはPointOne Navigationを利用しました。同社は米国のベンチャー企業で、日本国内では株式会社アカサカテックと連携し、ネットワークを構築しています。特徴として、基地局にmosaic-X5を採用し、Beidouを含む全GNSS衛星に対応している点や、API経由でデバイス管理が可能な点が挙げられます。また、同一アカウントをヨーロッパ、米国、韓国などでも利用できる柔軟性があります(図2参照)。

データ取得と解析

データ取得と解析には、ノートPC上でSeptentrio社提供のRxToolsを使用しました。また、Raspberry Piでもシステム構築が可能なオープンソースプロジェクト(PyDataLinkおよびSBFParser)についても紹介しました。

最後にまりますが、参加した学生の皆さんはGNSS技術への関心が非常に高く、積極的に取り組んでくださり、私自身にとっても非常に有意義な経験となりました。このような貴重な機会をいただきました測位航法学会の皆様に、心より御礼申し上げます。

図1:Raspberry Pi 5, mosaic-X5ボードとLTEモデムの接続

図 2 は表紙下段の日・韓の PointOne Navigation 分布図

Recent Progress in Furuno GNSS Receivers for Time Synchronization

古野電気株式会社 木村耀平

当社は、社会インフラや通信分野で培った高信頼技術を基盤に、時刻同期ソリューションの高度化に取り組んでいます。

本講演では、その一環として開発を進めている時刻同期用GNSS受信機の堅牢性向上に向けた最新の取り組みをご紹介しました。

理想環境(オープンスカイ)では、世界最高水準の時刻精度4.5ns(1σ)を達成し、マルチパス等を含む現実環境においても精度劣化を最小限に抑制しています。衛星信号が途絶した場合には、内蔵する高精度発振器によるホールドオーバ機能で時刻精度を維持します。アンテナ側では、IEC準拠設計とサージプロテクタによる多層防御を実装し、雷サージに強い構造を実現しました。都市部で問題となるマルチパス(反射)対策としては、NTTと共同開発したDynamic Satellite Selection™を採用し、可視衛星のみを選択することで、位置・時刻精度の誤差を大幅に低減しています。

ジャミング(妨害波)対策では、L1+L5の2周波対応と独立サーチエンジンを搭載し、L1が妨害されてもL5で継続運用が可能です。

スプーフィング(なりすまし)については、検知・フラグ表示機能や信号認証サービス(NMA)への対応を進めています。

さらに、実環境での検証として、ノルウェーでのJammertest

(2024年・2025年参加)で得られた知見をファームウェアに反映。隣接周波数対策では、LTE基地局近傍での試験により干渉フィルタの有効性を確認しました。

国際的に整理された脆弱性マップ(GNSSセグメントエラー、環境要因、隣接周波数、ジャミング、スプーフィング)に対し、これらの多層的な対策を講じることで、重要インフラ分野でも安心して利用できる「高精度かつ高い堅牢性を持つ時刻同期」を追求しています。

最後に、このような取り組みを発表する機会をいただき、心より感謝申し上げます。

GNSSサマースクール2025特別講義実施報告

株式会社アークエッジ・スペース
Joshua Critchley-Marrows(正会員)

International GNSS Summer School 2025において、株式会社アークエッジ・スペースの衛星測位に関する取り組みについて紹介しました。弊社は今、船舶用双方向デジタル通信システム(VDES：VHF Data Exchange System)、月測位システム(LNSS：Lunar Navigation Satellite System)、低軌道衛星測位(LEO-PNT：Low Earth Orbit – Position Navigation Timing)の3つの事業を推進しています。VDESは、そのレンジング・モードによって、数十～数百メートルの精度の衛星測位を期待できます。LNSSは、将来の月面活動に向け、月表面に測位信号を届けるための取組です。LEO-PNTは、既存GNSSのレジリエンス強化や、自動運転やドローン自動制御など、新サービス実現の観点から、昨今、期待を集めている新たな衛星測位です。LEO-PNTの社会実装を実現するためには、その軌道上技術実証の他、その信号仕様の相互運用性や互換性を確保するための国際的な連携が必要不可欠です。弊社は、測位航法学会の皆さまとの連携、オープンソース・ソフトウェアの活用、新たな測位信号の標準化などの取り組みを通じ、MADOCA-PPPのような日本のQZSSの価値の世界への拡大も視野に、このLEO-PNTに係る取り組みも着実に推進していきたいと考えております。

測位衛星利用のための システムデザインワークショップ

慶應義塾大学大学院
システムデザイン・マネジメント研究科
研究員　敷田剛志

測位衛星利用のためのシステムデザインワークショップ(以下、本ワークショップ)は、サマースクール5日目の9月5日に実施された。本ワークショップは、慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科神武直彦研究室の小高暁特任准教授を中心として、西野瑛彦特任講師のほか、敷田剛志研究員と修士課程学生の宮地航基氏が担当した。ワークショップでは、はじめに、小高特任准教授よりシステム思考やデザイン思考に関するインプットトークが行われ、俯瞰的かつ緻密な思考、つまり、物事をシステムとして捉える考え方が重要であるということを、神武研究室におけるシステム思考やデザイン思考の実践例を用いて解説した。また、Multi-GNSSのトレンドやシステム思考やデザイン思考とGNSSとの関連性について、GNSSを利用したマレーシアにおける植林の効率化や、北海道における放牧牛の管理に関する例示を通じて論じた。

その後、修士学生の宮地氏を中心として、2025年のMulti-

図 1 小高 暁 特任准教授によるインプットトークの様子

GNSSサービスをテーマにグループワークを開始した。本ワークショップでは、1グループあたり5名から6名程度の参加者からなるグループを7つ作成し、グループごとに次の4つのワークを実施した。①アイスブレイクとして、9のマス目に出身やサマースクールへの参加モチベーションなどを記載した自己紹介ワーク、②ブレインストーミングによるアイデア創出、③2軸図による構造シフト発想法を活用したアイデアの分類と新規アイデアの創出、④ステイクホルダー分析から始める顧客価値連鎖分析。最後に、各チーム3分のエレベーターピッチを行い、各グループにおけるグループワークのアイデアや成果を全体に共有した。

本年度実施したワークショップでは、これまでのGNSSサマースクールにおいて実施してきた同様のワークショップと比較して次の2点で顕著な違いを見受けることができた。

1点目は、参加者による生成AIの活用である。具体的な利用方法はそれぞれによって異なるものの、その利用方法は(1)より円滑なコミュニケーションのための利用、(2) アイディエーションへの補助としての利用、そして(3)GNSSとAIの掛け合わせによる新たなGNSSの活用方法の提案である。

図 2 あるグループの AI 活用事例。図左下

(1)について、本サマースクールのように多様な専門性を持ち、異なる背景を持つ参加者が集う場では、言語的な能力も均一ではなく、また、それぞれのアイデアや語彙に対する理解度も一定ではないため、生成AIの普及によってその差異が均質化されることは、不要な障壁を排除

し、創造的なアイデアを生み出す一助になると考えられる。

また、(3)のGNSSとAIの掛け合わせによる新たなGNSSの活用方法については、図2に示すように、AIとドローンとGNSSを活用することで農業を支援するアイデアや、VRやメタバースとの掛け合わせに関するアイデアが創出された。

2点目は、アイデアのスケール拡大である。2023年に実施したワークショップでは、6つのチームのうち5つのチームが地上におけるサービスを提案し、1つのチームのみが月や火星におけるサービスを提案した。他方、今回のワークショップでは、アイディエーションの段階から宇宙旅行や、月、火星といった地球外におけるGNSSの活用アイデアが多く見られた。図3に示すように、あるグループでは、月面におけるナビゲーションにGNSSを活用するアイデアや、惑星探査、火星移住に対してGNSSを利用するアイデアが創出された。他のグループでは、最終的なアイデアとして、月旅行にGNSSを活用するアイデアが創出された(図4)。このグループでは、月旅行における快適性の向上のための一手段としてGNSSを利用することを表現しており、具体性の高いアイデアとなっている。この2年間の民間による宇宙進出や打ち上げの高頻度化、およびその情報の流動性の高さがこれらの結果に影響していることが推察できる。

図 3　あるグループにおける地域外での GNSS 活用に関するアイデア

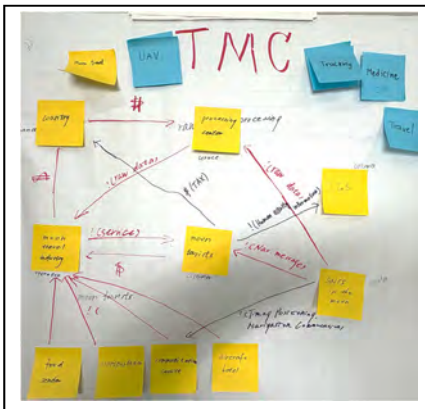


図 4 月旅行に関連するアイデアを提案したグループの顧客価値連鎖分析(CVCA)図

本ワークショップでは、システム思考・デザイン思考を基盤に2035年のMulti-GNSSサービスを構想し、多様な参加者が協働して未来の可能性を探究した。生成AIの活用による創造性の拡張や宇宙利用を見据えた壮大な発想が次々と生まれ、GNSSが描き出す未来への期待と希望を強く感じさせる場となった。（集合写真・裏表紙）

講義「GNSS and Space Law」

東京海洋大学　大河内美香

1. はじめに

2025年9月1日から6日までの6日間，東京海洋大学越中島キャンパスにてSummer School on GNSS 2025が開催されました．GNSSの第一人者が各界からつどい密度の濃い講演が行われるとともに，世界中から40人を超えるGNSSのスペシャリストが参加するというサマースクールの高名は聞き及んでいました．そのような講師陣の中，「GNSS and Space Law」と題し講義を担当させて頂くにあたり，参加者の皆様に新しい知見を提供できる自信はありませんでしたが，法学という別の分野から見たGNSSへの期待を少しでも紹介できればと思い，参加させて頂きました．

自己紹介が遅れましたが，私は東京海洋大学(品川キャンパス)で海技士に必要な海事・海洋法や宇宙法の教育・研究をしています．GNSSは現在，法学のほか，広く地政学的にも注目を集めています．そこで今回の講義では，技術と法の関係に焦点をあて，GNSSの抗堪性や安全を害するジャミングを宇宙法が禁止できるのか，また反面，こうした技術が原子力発電所などの重要施設をドローンの攻撃から防護するために必要とされていることを，法はどのように整理できるのかという問題を，宇宙法の基本的な仕組みを紹介しながら提起しました．

2. GNSSと宇宙法

講義では，まず宇宙法が国家間の合意によって成立し，合意した国の間で強制力を持つ，契約に似た性質を持つことを説明しました．宇宙の平和利用や宇宙物体の打上げによる損害の賠償などの枠組みも，国連のイニシアティブのもと，国々の同意を得ながら作られていきます．このような宇宙法の基本を手短に説明して，「最先端技術を学びにきた人たちに古びた法理論の授業はしないから心配しないで」と言うと，安心したような笑いがおこりました．

次に，GNSSの専門家である参加者の皆さんに，法学から見たGNSSの意義について述べました．GNSSは海洋法においても，マラッカ海峡やホルムズ海峡，北極海航路など狭く危険な海域での船舶交通の安全に不可欠のインフラと理解されています．また近年は大水深の大陸棚(石油・天然ガスの豊富な海底の広い範囲です．)を掘削する船が安全に定位置で作業をするためにもGNSSを用いた船位保持システム(DPS: Dynamic Positioning System)の運用が欠かせません．このようにGNSSは，サプライ・チェーンやエネルギー安全保障を支え，海の法秩序を維持するために重要な技術と位置づけられています．

3. ジャミングとGNSSの抗堪性

他方，デュアルユース技術であるGNSSは，ドローンやミサイルを標的に到達させ，反対にジャミングが，市民や施設を攻撃から守るために必要とされていることを，イスラエルや黒海のケースをもとに紹介しました．そして，なぜ宇宙法がジャミングやスプーフィング(欺瞞)を全面的に禁止することができないのか，国々の合意に基づく宇宙法の仕組みを確認しながら説明しました．

4. 技術と法によるGNSSの強靭化

結論として，宇宙法は事業活動におけるGNSSの不可欠性を認めていますが，その機能を害するジャミングは禁止できていません．そこでGNSSの妨害による危険を回避する仕組みとして，NOTAM(Notice to Mariners)やみちびきの運用状況を知らせるNAQU(Notice Advisory QZSS Users)，また電子署名やフィルタの開発といった技術が決定的な意味を持つことを述べると，参加者が誇らしげに強くうなずく様子が印象的でした．また事業者と政府が協働してGPSの妨害情報を集約し警告する米国の仕組みが有効であることを紹介しました．最後に，このような法制度を作るにあたってもGNSSの技術的な知見が必要とされるため，技術と法との協力の必要を理解し

て欲しいと述べて講義を終えました.

5. おわりに

今回の講義は最終目の午後であり，専門的な講義の後で参加者に疲れがあるかと思いましたが，皆様から感じたのは疲れではなく大きな自信と自負でした．GNSSの専門家として高度で有意義な知識を持ち，これをさらに深めるために意欲的に講義に参加し，問いかけに得意げにうなずき，手を高く挙げて知っていますと同意する参加者の様子を見て，これが測位の世界の魅力と輝きなのだとまぶしく感じました．国籍・言語・文化・宗教の異なる参加者が，GNSSという技術をとおして結束する場に，宇宙法も取り入れて下さいましたサマースクールの先生方と関係者の皆様に，この場をお借りしてお礼申し上げます．ありがとうございました．

International Summer School 2025 参加報告

名城大学大学院　新美大樹

私は今回、測位航法学会主催の International Summer School 2025 に参加し、今後の研究活動にとって非常に貴重な経験を得ることができた。本サマースクールにはアジアのみならず、アメリカやロシア、カメルーンなど多様な地域から年齢も背景もさまざまな参加者が集い、GNSSの知見を深めたいという共通の目的のもと交流した。参加者は約40名で、英語を共通語として活発な議論や意見交換が行われ、国際色豊かな学びの場となっていた。

講義ではGNSSの基礎理論から最新の測位技術まで幅広いテーマが取り上げられ、位置推定手法やスプーフィング対策、SDRにおける信号処理など、多角的な観点からGNSSの基礎知識と応用を体系的に学ぶことができた。

さらに、講義や演習の合間には参加者同士が自由に意見交換できる時間が多く設けられており、GNSSの教育・研究・社会実装を進める仲間との交流を通じて、自分にはなかった視点を得ることができた。技術的な議論だけでなく、日常的な会話や懇親の場でも国際的なネットワークを築くことができた点も大きな収穫である。

今回のサマースクールは、知識や技術の習得にとどまらず、異なる背景をもつ参加者との交流から多くの刺激を受け、自身の課題や今後の方向性を見つめ直す好機となった。この経験を糧に、得られた学びを研究活動へ還元し、今後も国際的な学術交流の場に積極的に関わっていきたい。

Report on Participation in the International GNSS Summer School 2025

Universiti Teknologi Malaysia, Dr. Fitri Yakub

The International GNSS Summer School 2025 was a transformative experience that combined cutting-edge knowledge, practical training, and international collaboration. The exposure to leading experts, industry technologies, and diverse perspectives has inspired our team to further contribute to GNSS research and applications. This milestone will remain a significant step in our academic and professional journey.

Technical Knowledge: Gained deeper understanding of GNSS fundamentals, advanced positioning techniques, signal authentication, meteorology applications, and the integration of GNSS with legal and policy perspectives.

- Practical Skills: Acquired hands-on experience with RTKLIB, GNSS receiver software, and system design workshops.
- Global Networking: Built lasting connections with researchers, engineers, and students from Japan, Thailand, Cameroon, Mauritius, Russia, India, Pakistan, USA, Taiwan, China, and other countries.
- Cultural Exposure: Gained insights into Japanese history, culture, and technology through tours and guided activities.

タイ・マレーシアからの受賞招待者はスクール終了後、都内観光バスツアーと屋形船ディナーに招待されました。

GPS/GNSS気象学・引用文献(P.4から続く)

Bevis, M., S. Businger, T. A. Herring, C. Rocken, R.A. Anthes, and R. H. Ware, 1992: GPS Meteorology : Remote sensing of atmospheric water vapor using the Global Positioning System, *J. Geophys. Res.*, **97**,15787-15801.

Boehm, J., B. Werl, and H. Schuh, 2006: Troposphere mapping functions for GPS and very long baseline inter ferometry from European Centre for Medium-Range Weather Forecasts operational analysis data. *J. Geophys. Res.*, **111**, B02406, doi:10.1029/2005JB003629. -

Boudouris, G.,1963: On the index of refraction of air, the absorption and dispersion of centimeter waves by gasses., *J. Res. Natl. Bur. Stand.*, **Sect., 67 D**, 631-684.

Elgered, G., J. L. Davis, T. A. Herring and I. I. Shapiro, 1991: Geodesy by radio interferometry: Water vapor radiometry for estimation of the wet delay, *J. Geophys. Res.*, **96**, 6541-6555.

Fjeldbo, G., Kliore, A. J., & Eshleman, V. R. , 1971: The neutral atmosphere of Venus as studied with Mariner V radio occultation experiment. *The Astrophysical Journal*, **76**, 123–140.

Kawate K., Y. Igarashia, H. Yamada, K. Akiyama, M. Okeya, H. Takiguchi, M. Murata, T. Sasaki, S. Matsushita, S. Miyoshi, M. Miyoshi, S. Kogurea, 2023: MADOCA: Japanese precise orbit and clock determination tool for GNSS, *Advances in Space Research*, **71**, 3927-3950.

気象庁 大気海洋部 環境・海洋気象課 海上・データ班, 2023: 船舶による海上のGNSS 水蒸気観測について, *測候時報*, **第90巻5.**

Kosaka, Y., S. Kobayashi, Y. Harada, C. Kobayashi, H. Naoe, K. Yoshimoto, M. Harada, N. Goto, J. Chiba, K. Miyaoka, R. Sekiguchi, M. Deushi, H. Kamahori, T. Nakaegawa, T. Y.

Tanaka, T. Tokuhiro, Y. Sato, Y. Matsushita, and K. Onogi, 2024: The JRA-3Q reanalysis. *J. Meteor. Soc. Japan*, **102**, 49–109, doi:10.2151/jmsj. 2024-004.
MacMillan, D. S. and C. Ma., 1997 : Atmospheric gradients and the VLBI terrestrial and celestial reference frames, *Geophys.Res. Let.*, **24**, 453-456.
Nakamura, H., K. Kuma, K. Onogi, T. Miyasaka, Y. Makihara, J. Ishida, 2022: Toward High-Resolution Regional Atmospheric Reanalysis for Japan: An Overview of the ClimCORE Project, *IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, Osaka, Japan, 2022, pp. 6153-6158, doi: 10.1109/BigData55660.2022.10020656.
Niell, A. E.,1996 : Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths, *J. Geophys. Res.*,**101**,3227-3246.
Shoji, Y., J. Miura, S. Tsubaki, Y. Higashi, S. Hibino, A. Kojima, T. Nakamura, and K. Shutta, 2023: A study on analysis setting optimization of ship-based GNSS measurements for maritime precipitable water vapor monitoring. *J. Meteor. Soc. Japan*, **101**, 323–346, doi:10.2151/jmsj.2023-020.
小司禎教，岩淵哲也，畑中雄樹，瀬古弘，市川隆一，大谷竜，萬納寺信崇, 2009：GPS気象学：GPS 水蒸気情報システムの構築と気象学・測地学・水文学への応用に関する研究，*測地学会誌*，**55**，17-38.
Simmons, A., C., S., J., Nicolas, B., Bell, P., Berrisford, R., Dragani, J., Flemming, L., Haimberger1, S., Healy, H., Hersbach, A., Horányi, A., Inness, J., Muñoz-Sabater, R., Radu and D., Schepers, 2020: Global stratospheric temperature bias and other stratospheric aspects of ERA5 and ERA5.1, *ECMWF Technical Memorandam*, **859**, doi:10.21957/rcxqfmg0
Takasu, T., 2013: RTKLIB 2.4.2 manual. 183 pp. [Available at http://www.rtklib.com/prog/manual_2.4.2.pdf.]
Ware, R., M. Exner, D. Feng, M. Gorbunov, K. Hardy, N. Herman, Y. Kuo, T. Meehan, W. Melbourne, C. Rocken, W. Wchreiner, S. Sokolovskiy, F. Solheim, X. Zou, R. Anthes, S. Businger, and K. Trenberth, 1996: GPS sounding of the atmosphere from low earth orbit: Preliminary results, *Bulletin of the Amer. Meteorol. Soc.*, **77**, 19-40,

イベントカレンダー

国内イベント

・2025.10.18-19 日本航海学会第 153 回研究会・講演会
（富山県民会館）
・2025.11.25-28 第 69 回宇宙科学連合講演会
（札幌コンベンションセンター）
・**2025.12.03-05 GPS/GNSS シンポジウム**
（東京海洋大学）

注：太字は本会主催イベントです。

国際イベント

・2025.10.19-24 ICG-19 (Busan, Republic of Korea)
・2026.01.26-29 ITM 2026 (Anaheim, Ca, USA)
・2026.02.04-06 PNT2026 (Sydney, Australia)
・2026.03.02-08 16th MGA Meeting (Tokyo, Japan)
・2026.03.25-27 Munich Satellite Navi. Summit (Germany)
・2026.04.13-16 Pacific PNT (Honolulu, Hawaii, USA)
・2026.04.26-28 ENC 2026 (Vienna, Austria)

編集後記

10月になっても暑い日があり、「秋はいつ来るのか」「地球はどうなってしまうのか」と不安な毎日を送っています。

そんな中ですが、例年通りサマースクールは開催しましたので、これに関する記事を基に編集を試みました。GNSS信号を利用した気象把握等、面白い信号利用の講義もあり、例年に増して読み応えもありそうです。

従来であれば、「月を眺めたり」「紅葉の香りを語ったり」して日本の四季を楽しむ時節なのですが、もう少し時が必要なようです。

でも、朝夕は涼しくなって来ているので、このニューズレターを横に置かれては如何でしょうか？

ニューズレター編集委員長　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：ニューズレターの送付（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・ご案内のお問い合せは：
info@gnss-pnt.org にお願いします。

図5. SDMワークショップ後の全体集合写真（本文P.6-7 ）

2グループに分かれてキャンパスツアー（スクール4日目午後 ）
背後に怪しい雲が。翌5日目金曜日は午前中は豪雨に見舞われました。

ソフトバンク株式会社
ヤンマーホールディングス㈱
セイコーエプソン株式会社
日本電気株式会社