ハンズオン・ワークショップ

自分だけの ADS-B 受信機を作って、あなたの空を地図に載せよう

このコースの内容は、すべてご自宅の窓から確かめることができます。このワークショップでは、何を買えばよいか、どう組み立てるか、Raspberry Pi に Dataero フィーダーをどうインストールするか、そして受信した航空機があなたの局の名前付きで radar.dataero.eu に表示されるのをどう確認するかを、具体的に説明します。無線、電子工作、Linux の経験は必要ありません。予算はおよそ 100〜150 ユーロ、時間は午後ひとつ分、そして空が見える窓があれば十分です。

学ぶ - https://radar.dataero.eu/ja/learning/workshop　2026-11-21

目次

始める前に 何を作るのか、そしてなぜ作る価値があるのか
1 枚の図で 部品のつながり方
買い物リスト 何を買うか、部品ごとに
設置場所 アンテナの設置：高さ、空、ケーブル
ステップ 1 ハードウェアの組み立て
ステップ 2 Raspberry Pi の準備
ステップ 3 Dataero フィーダーのインストール
ステップ 4 稼働開始と、受信機の登録
ステップ 5 調整と、見えているものの理解
うまく動かないとき トラブルシューティング
その後 動かし続けるために
クラスやご家族で 受信機をプロジェクトにする
ようこそ フィーダーが得るもの、そしてあなたが地図にもたらすもの

始める前に

何を作るのか、そしてなぜ作る価値があるのか

受信機は、一列に並んだ 4 つの要素でできています。1090 MHz の電波をとらえるアンテナ、電波を数値に変える USB ドングル、その数値をメッセージに解読する小さなコンピューター、そして解読した位置情報を Dataero に送るインターネット接続です。フィーダーが動き始めた瞬間から、あなたのアンテナが受信するすべての航空機が、ライブマップ **radar.dataero.eu** に、あなたの局を情報源として表示され、誰でも見られるようになります。この仕組みのどこからも電波は出ません。受信するだけであり、受信はベルギー、欧州連合全域、そして世界のほとんどの国で合法です（それ以外の国にお住まいの場合は、受信機器に関するその国の規則をご確認ください）。

コースではシステムが動く理由を説明しました。受信機を使えば、それを実際に試すことができます。第 7 章の電波の水平線を実際の航空機で測り、信号強度の列で逆二乗の法則を確かめ、時間帯によってメッセージ数が変わる様子を観察し、窓際のアンテナと屋根の上のアンテナを比べることができます。ご家族にとっては物語を締めくくるプロジェクトであり、クラスにとっては一年中本物のデータを生み出す、屋上の常設観測装置になります。

受信機を持つと、あなたは**フィーダー**にもなります。Dataero の地図は、ボランティア、空港、学校が設置した受信機だけで作られており、地図の質は受信する人の数で決まります。フィーダーは、訪問者には提供されないものを無料で利用できます。局が受信している内容のダッシュボード、担当する空域の 2 次元・3 次元のカバレッジマップ、365 日分のフライト履歴、そしてネットワーク上の他のすべての局と競うリーダーボードでの順位です。料金は一切かからず、契約も不要で、同じ受信機ですでに利用している他のネットワークへのデータ提供も続けられます。

時間、費用、スキル
費用：新品で揃えた場合、ベーシック構成で 150〜200 ユーロ、アドバンスト構成で 300〜420 ユーロです。すでに Raspberry Pi をお持ちなら、もっと安く済みます。**時間：**部品が届いてから午後ひとつ分です（組み立て約 30 分、メモリーカードの準備 10 分、フィーダーのインストール 10 分）。**スキル：**コネクターをねじ込むことと、ターミナルに 3 行をコピーすることだけです。**運用コスト：**受信機の消費電力は 4〜5 W、年間約 40 kWh で、電気代はおよそ 10〜15 ユーロです。

1 枚の図で

部品のつながり方



信号は左から右へ流れます。左の 3 段階は無線、次の 2 段階はコンピューター処理、最後の 3 段階はネットワークです。各段階には、リファレンスコースに対応する章があります。

アンテナは、第 5 章から第 8 章で説明した物理現象が起きる場所です。長さ約 65 mm の 4 分の 1 波長の金属が 27.5 cm の電波と共振し、数十億分の 1 ワットの電力をごく小さな電圧に変えます。ケーブルはその電圧をドングルまで運びますが、細いケーブルでは 10 メートルごとにおよそ半分を失います。だからこそ、アンテナはドングルの近くに置くか、太いケーブルを使う必要があります。フィルターとアンプはオプションです。1090 MHz の信号をドングルに届く前に強め、そのままではドングルを「聞こえなく」してしまう携帯電話や FM ラジオの送信波を取り除きます。ドングルはソフトウェア無線（SDR）で、電波を毎秒 200 万回サンプリングし、その数値を Raspberry Pi に渡します。Raspberry Pi ではデコーダー（dump1090 の後継である readsb）が第 4 章のプリアンブルを見つけ、112 ビットを読み取り、誤り検出符号を確認し、検査に失敗したものはすべて捨てます。その後、Dataero フィーダーが解読済みのメッセージをインターネット接続経由で Dataero の受信ハブに転送し、ハブがあなたの局を他のすべての局と統合して地図を作ります。

買い物リスト

何を買うか、部品ごとに

下のリストは完全版です。これらの部品だけで、他には何もなくてもデータ提供を始められます。構成は 2 種類あります。ベーシック構成は小さなアンテナを室内（窓際や屋根裏）に置くもので、システムの動作を確かめ、最初の晩からデータを提供するには十分です。アドバンスト構成は、同調済みのアンテナを屋外に設置し、フィルター付きアンプと低損失ケーブルを組み合わせて、電波の水平線まで届きます。価格は新品・税込の目安で、店や時期によって変わります。「購入」ボタンを押すと、選んだ国の Amazon

ストアで各部品が開きます。同じ部品はどの電子部品店でも販売されており、コンピューターは Raspberry Pi の公式販売店でも購入できます（Raspberry Pi のウェブサイトに国別の一覧があります）。どの店で買う場合でも、ドングルは ADS-B 用として販売されているものを選んでください。同じドングルでもテレビチューナーとして売られているものは、古くてノイズの多い版であることが多いためです。

コンピューター：Raspberry Pi

メモリー 2 GB の **Raspberry Pi 4 Model B** が最適です。能力のごく一部で 1090 MHz を解読でき、USB ポートが 4 つ、有線 Ethernet と Wi-Fi を備え、ケースと電源付きのキットとして販売されています。Raspberry Pi 5 でも同じように動作し、少し高くなります。Raspberry Pi 3B+ は、すでにお持ちなら使えます。Raspberry Pi Zero 2 W も動きますが、USB の電力に余裕がないため、最初の構成では避けたほうが無難です。お使いのモデル用の**公式電源**（受信機がランダムに再起動する原因として最も多いのが、力不足のスマートフォン用充電器です）、有名メーカーの **16 GB または 32 GB の microSD カード**、そして通気性のある**ケース**を購入してください。ドングルもプロセッサーも熱を持つためです。キットに含まれていなければ、小さなヒートシンクのセットも加えましょう。目安は、コンピューターが 50〜70 ユーロ、電源が 10〜15 ユーロ、カードが 10 ユーロ、ケースが 10 ユーロです。

無線部：RTL-SDR ドングル

ドングルは、RTL2832U チップと R820T2 または R860 チューナーを中心に作られたソフトウェア無線で、第 9 章で説明したのと同じファミリーです。**ADS-B 用として販売されている**ものを選んでください。最初の一台として最適なのは、**1090 MHz フィルターとアンプを内蔵した**ドングルです（最もよく知られているのは FlightAware Pro Stick Plus で、AirNav の FlightStick も同様です）。本来なら別に買うフィルターと低雑音アンプがスティックの中に入っており、都市部では普通のドングルの 2〜3 倍遠くまで受信できます。汎用ドングル（RTL-SDR Blog V4、Nooelec NESDR SMArTee）でも動作し、後で他の電波も聞きたい場合は用途が広がりますが、携帯電話の基地局から数キロメートル以内にお住まいなら、後述の外付けフィルターを追加してください。どれを買う場合も、アンテナ端子を確認しましょう。**SMA** が標準で、このリストのアンテナとケーブルはすべて SMA を使います。小さな MCX 端子のドングルは、アダプターが必要なうえ壊れやすいので避けてください。目安は 30〜45 ユーロです。

アンテナ

ドングルの箱に小さなマグネットアンテナが付属していれば、まずはそれから始めましょう。窓際の金属面に置けば 80〜150 km 先の航空機を受信でき、最初の晩にシステムの動作を確かめるには十分です。ただし本格的な受信機には**同調済みの 1090 MHz アンテナ**が必要で、ここは節約してはいけない部品です。防水チューブに収めたスタック型のコリニアアンテナで、長さ 60〜70 cm、利得 4〜6 dBi、下端に N 型または SMA 端子が付いたものです（FlightAware の 1090 MHz アンテナと Jetvision の A3 が定番で、50〜70 ユーロ）。第 8 章の波長にぴったり共振し、遠くの航空機がいる水平線方向に感度を集中させるように作られています。屋外で、見通しのよい短いマストに取り付ければ電波の水平線まで届き、巡航高度の航空機なら 350〜450 km になります。電線を切って作る自作アンテナは教室での実験用であり、受信機には向きません。数ミリの誤差で同調がずれ、工場で調整されたアンテナのごく一部しか受信できないからです。

ケーブルとコネクター

アンテナが Pi のすぐ近くにあるなら、細くて柔らかいタイプの **1〜3 m の SMA オス－SMA オスケーブル**（1 m なら RG-174、3 m なら RG-58 または H155）で十分です。配線が長くなるほど、ケーブルは太くなければなりません。1090 MHz では、細いケーブルは 10 メートルごとに約 3 dB、つまり信号の半分を失いますが、LMR-400 や H1000 のような太い低損失ケーブルなら約 1.3 dB で済みます。したがって、Pi から 15 m 離れた屋根のアンテナには、LMR-400 か、アンテナ側に取り付けるフィルター付きアンプ、あるいはその両方が必要です。ケーブルは、コネクターが取り付け済みで長さを指定して作られたものを購入してください（アンテナに N 型ソケットがあればアンテナ側は N オス、ドングル側は SMA オス）。N 型コネクターを手作業で取り付けるには、圧着工具と慣れが必要だからです。目安は、短いケーブルで 10 ユーロ、長い低損失ケーブルで 30〜60 ユーロです。さらに、ドングルを Pi から離すための 30〜50 cm の**短い USB 延長ケーブル**を加えてください。基板に直接差し込んだドングルはプロセッサー自身が出す電波ノイズを拾い、隣のポートもふさいでしまいます。

フィルターとアンプ（オプションですが、最も安く受信範囲を広げる方法）

ドングルにフィルターが内蔵されていない場合は、ケーブルとドングルの間に **1090 MHz バンドパスフィルター**（20〜25 ユーロ、入出力とも SMA）を入れると、普通のドングルが一緒に受信してしまい、都市部では過負荷の原因となる携帯電話、FM、テレビ、ポケベルの信号を取り除けます。さらによいのは、長いケーブルのアンテナ側に取り付ける**フィルター付き低雑音アンプ**（約 35 ユーロ。RTL-SDR Blog 1090 LNA と Uputronics のプリアンプが一般的）です。ケーブルで失われる前に信号を増幅し、電源はケーブルそのものを通じてドングルから供給されます（*バイアスティー*と呼ばれる方式で、ドングルが対応している必要があります。Blog V4、Pro Stick Plus、SMArTee はいずれも対応しています）。長いケーブルの Pi 側に付けたアンプはほとんど役に立ちません。ケーブルですでに失われたものを増幅するだけだからです。

工具とその他

メモリーカードに書き込むための SD カードリーダー付きのコンピューター（または 5 ユーロほどの USB カードリーダー）、ご自宅のルーターの Wi-Fi パスワード、または空いている Ethernet ポートとケーブル、そしてアンテナ用に窓台、屋根裏の梁、または壁用ブラケット 2 個付きの短いマストが必要です。屋外アンテナの場合は、コネクターを防水するための自己融着テープ（3 ユーロ）、結束バンド、水切りループ用に数メートルの余分なケーブルを加えてください。工具は小さなドライバーとはさみだけです。

ベーシック構成 小さなアンテナを室内（窓際や屋根裏）に設置 - 50〜150 km - 150〜200 ユーロ

部品	用途	Amazonで購入
Raspberry Pi 4 キット Model B（2 GB または 4 GB）、公式電源、通気性のあるケース、32 GB または 64 GB の microSD カードがすべてキットに含まれます。Raspberry Pi 5 のキットでも同じように使えます	メッセージを解読し、Dataero フィーダーを動かします	https://radar.dataero.eu/go/pi

部品	用途	Amazonで購入
AirNav Radar FlightStick ドングル 1090 MHz フィルターとアンプを内蔵した USB ソフトウェア無線、SMA ソケット。在庫がある限り、FlightAware Pro Stick Plus も同等です	電波を数値に変えます。内蔵のフィルターとアンプが、都市部での受信範囲を生み出します	https://radar.dataero.eu/go/sdr
USB 延長ケーブル（30〜50 cm） USB 2.0、A オス－A メス	ドングルをプロセッサー自身の電波ノイズから遠ざけ、隣のポートを空けます	https://radar.dataero.eu/go/usb-ext
マグネットベース付き小型 1090 MHz アンテナ ADS-B 用に同調済み、専用ケーブルと SMA オスプラグ付き	窓際で電波をとらえます。金属面に置くと 50〜150 km 先の航空機を受信できます	https://radar.dataero.eu/go/antenna-indoor

アドバンスト構成 屋外アンテナを短いマストに設置し、長距離を受信 - 250〜400 km - 300〜420 ユーロ

部品	用途	Amazonで購入
Raspberry Pi 4 キット Model B（2 GB または 4 GB）、公式電源、通気性のあるケース、32 GB または 64 GB の microSD カードがすべてキットに含まれます。Raspberry Pi 5 のキットでも同じように使えます	メッセージを解読し、Dataero フィーダーを動かします	https://radar.dataero.eu/go/pi
AirNav Radar FlightStick ドングル 1090 MHz フィルターとアンプを内蔵した USB ソフトウェア無線、SMA ソケット。在庫がある限り、FlightAware Pro Stick Plus も同等です	電波を数値に変えます。内蔵のフィルターとアンプが、都市部での受信範囲を生み出します	https://radar.dataero.eu/go/sdr
USB 延長ケーブル（30〜50 cm） USB 2.0、A オス－A メス	ドングルをプロセッサー自身の電波ノイズから遠ざけ、隣のポートを空けます	https://radar.dataero.eu/go/usb-ext
FlightAware 1090 MHz 屋外アンテナ 防水チューブ入りのコリニアアンテナ、66 cm、N メスソケット。代替品は Jetvision の A3 です	ちょうど 27.5 cm で共振し、水平線方向を向くように作られています。屋外で見通しがよければ、電波の水平線まで届きます	https://radar.dataero.eu/go/antenna-outdoor
フィルター付き 1090 MHz アンプ RTL-SDR Blog ADS-B LNA、Nooelec SAWbird+ ADS-B、または Uputronics のプリアンプ。ケーブル経由で給電（バイアスティー）	アンテナ側に取り付け、ケーブルで失われる前に信号を強めます	https://radar.dataero.eu/go/lna

部品	用途	Amazonで購入
N オス－SMA オス変換アダプター アンテナの N ソケットとアンプの SMA ソケットの間に入れます	アンテナとアンプをつなぎます	https://radar.dataero.eu/go/adapter
低損失同軸ケーブル（10 m） LMR-400 または H1000、両端 SMA オス、コネクター取り付け済みの長さ指定品	屋根からドングルまで信号を運び、損失は 10 m あたり約 1.3 dB にとどまります	https://radar.dataero.eu/go/coax
壁用ブラケット付き短いマスト 長さ約 1 m、直径 30〜40 mm、ブラケット 2 個付き	アンテナを屋根の高さより上に持ち上げ、壁や煙突を避けます	https://radar.dataero.eu/go/mount
自己融着テープ 1 巻	屋外のすべてのコネクターを雨から守ります	https://radar.dataero.eu/go/tape

Dataero EuropeはAmazonアソシエイトとして、これらのリンクを経由した適格販売により収入を得ています。お客様に追加の費用はかかりません。価格、在庫、配送はAmazonの表示によります。同じ部品はどの電子部品店でも購入できます。

買ってはいけないもの
名前のないチップと MCX 端子が付いた 10 ユーロのテレビ用スティック（1 週間は動きますが、周波数がずれ、過熱し、弱いメッセージを取りこぼします）。「広帯域」のディスコーンアンテナやカーラジオ用アンテナ（1090 MHz で共振しません。長さが重要な理由は第 8 章で説明しています）。見た目が合いそうな端子の付いた Wi-Fi や 4G 用アンテナ（周波数が違います）。自分で圧着するコネクター付きの長いケーブル。電源としてのスマートフォン用充電器。カードが挿さったままの、出どころのわからない中古の Raspberry Pi。

設置場所

アンテナの設置：高さ、空、ケーブル

価格よりも設置場所が大切です。第 7 章の電波の水平線の式 d = 4.12 x (sqrt(h aircraft) + sqrt(h antenna))（高さはメートル単位）によると、窓台の高さ 2 m にあるアンテナは、高度 11 000 m の旅客機を最大 438 km 先まで見通せます。同じアンテナを高さ 20 m の屋根に置いても、伸びるのはわずか 13 km です。高さよりもはるかに重要なのは、**間に何があるか**です。壁、丘、金属の屋根、隣の建物は見通し線を完全にさえぎり、航空路と反対側を向いた窓では空の半分しか受信できません。ですから、最初に考えるべきは「どれだけ高いか」ではなく「アンテナから何が見えるか」であり、答えは「できるだけ多くの方向に、水平線までできるだけ広い空」であるべきです。

窓際では、できればアンテナをガラスの外側に置き（バルコニーの手すりなどに、鋼板の上にマグネットで固定）、無理ならガラスに接するように内側の窓台に置きます。金属コーティングのある最近の複層ガラスは信号を目に見えて弱めます。開く窓ならケーブルを外に出せます。最寄りの空港か、最も混雑した航空路の方を向いた窓を選びましょう。どちらかはライブマップで確認できます。**屋根裏**では、瓦やスレートの屋根は 1090 MHz をほぼ通すので、アンテナはあらゆる方向を見通せます。金属屋根やアルミ箔付きの断熱材は電波を通しません。アンテナは梁から、棟が許すかぎり高い位置に吊るし、水タンクや配線から離してください。**屋根の上**では、壁用ブラケット 2 個で棟より 1 メートル高く立てたマストなら、煙突や隣家を越えられます。これが電波の水平線まで届く設置方法であり、太いケーブルかアンテナ側のアンプが必要になる方法でもあります。

ケーブル	1090 MHz での 10 m あたりの損失	10 m 後に残る信号	用途
RG-174（2.8 mm）	約 7 dB	20 %	室内、1 m 未満
RG-58（5 mm）	約 5 dB	30 %	室内、1〜3 m
H155 / LMR-200（5.5 mm）	約 3 dB	50 %	5 m まで
LMR-400 / H1000（10 mm）	約 1.3 dB	75 %	屋根からの 10〜20 m の配線
アンテナ側のアンプ＋任意のケーブル	損失はケーブルの前で補われる	ほぼすべて	あらゆる長い配線

安全
架空電線に触れたり、電線の上に落ちたりする可能性のある場所には、絶対にアンテナを設置しないでください。建物に避雷針がある場合は、アンテナを屋根の最も高い点より下に保ってください。避雷針がない場合でも、1 m のマストに付けた小さなプラスチック製アンテナが煙突以上に雷を引き寄せることはありませんが、雷雨のときはドングルを抜いてください。屋根の作業は大人が、日中に、はしごを支える人と一緒に行ってください。屋根裏や窓際なら、リスクなしで 8 割の成果が得られます。屋外のコネクターはすべて自己融着テープで防水し、引き込み口の下でケーブルにループを作って、雨水が中に流れ込まずに滴り落ちるようにしてください。受信機は受信するだけで、ここにあるものは何も電波を出しません。

ステップ 1

ハードウェアの組み立て

組み立ては、コネクター同士をねじ込むだけです。気をつけるべきことは、工具を使わずに、それ以上回らなくなるまで手で締めることと、コネクターから手のひら 1 枚分の範囲でケーブルを急に曲げないことだけです。

1. キットにヒートシンクが付いていれば Pi に取り付け、Pi をケースに入れます。ふたはまだ閉めないでおきます。
2. アンテナケーブルをアンテナにねじ込み（N 型または SMA、手で締める）、別売りのフィルターやアンプを使う場合は、ケーブルのドングル側にねじ込みます。順番は、アンテナ、ケーブル、フィルターまたはアンプ、ドングルです。アンテナ側に付けるアンプの場合は、代わりにアンテナとケーブルの間に入れます。
3. ケーブルをドングルの SMA ソケットにねじ込みます。ドングルを USB 延長ケーブルに差し、延長ケーブルを Pi の青い USB 3 ポートのどれかに差し込みます（どのポートでも動きますが、青いポートが Wi-Fi アンテナから最も離れています）。
4. 先ほど決めた場所にアンテナを置き、ケーブルをゆるやかに曲げて配線します。ドングルは風通しのよい場所に置いてください。触ると温かくなりますが、正常です。
5. ルーターを使う場合は、Ethernet ケーブルをルーターにつなぎます。電源はまだ差し込まないでください。先にメモリーカードを準備します。

ステップ 2

Raspberry Pi の準備

Pi には、メモリーカード上のオペレーティングシステムと、ご自分のコンピューターからコマンドを入力するための手段が必要です。どちらも 10 分で済み、1 つのプログラム **Raspberry Pi Imager** でクリックしていくだけで設定できます。このプログラムは Raspberry Pi のウェブサイトから、Windows、macOS、Linux 用を無料でダウンロードできます。

1. microSD カードをコンピューターに挿入します。Raspberry Pi Imager を開きます。「Raspberry Pi Device」でお使いのモデルを選び、「Operating System」で **Raspberry Pi OS (other)**、続いて **Raspberry Pi OS Lite (64-bit)** を選びます。受信機には画面を接続しないので、デスクトップのない版を使います。「Storage」でカードを選びます。
2. 「Next」をクリックし、Imager が OS のカスタマイズ設定の適用を提案したら、**Edit settings** をクリックします。「General」タブでホスト名を **adsb** に設定し（これで Pi は adsb.local という名前で応答します）、「Set username and password」にチェックを入れてユーザー名とパスワードを決め（メモしておいてください）、Ethernet ケーブルを使わない場合は Wi-Fi の名前とパスワード、国を入力します。タイムゾーンも設定します。「Services」タブで、パスワード認証で **Enable SSH** にチェックを入れます。保存してから、カードが消去されることを確認し、Imager に書き込みと検証を任せます。
3. カードを Pi に挿し、電源をつないで 2 分待ちます。起動中は緑のランプが点滅します。初回の起動は時間がかかります。
4. コンピューターでターミナルを開きます。Windows では PowerShell（スタートメニューで検索してください）、Mac ではターミナル、Linux では任意のターミナルです。決めたユーザー名を使って下のコマンドを入力し、Enter キーを押します。フィンガープリントについての質問には **yes** と答え、続けてパスワードを入力し（入力中は何も表示されません）、Enter キーを押します。プロンプトが Pi のものに変われば、受信機の上でコマンドを入力している状態です。

```
ssh <username>@adsb.local
```

adsb.local が見つからない場合、ルーターがローカル名を扱えていません。ルーターの管理画面を開き、接続されている機器の一覧から Pi の IP アドレス（192.168.1.42 のようなもの）を確認し、名前の代わりにそれを使ってください。接続できたら、システムを最新の状態にし、フィーダーをダウンロードするためのツールである git をインストールします。その行をコピーして貼り付け、Enter キーを押して待ちます。初回の更新には 10 分ほどかかることがあります。

```
sudo apt update && sudo apt full-upgrade -y && sudo apt install -y git
```

ステップ 3

Dataero フィーダーのインストール

Dataero フィーダーは、Dataero が GitHub で公開している小さなオープンソースのプログラムです（**github.com/dataero-adsb/dataero-adsb-feeder**）。そのインストーラーは、受信機に必要なことをすべて行います。Pi にデコーダー（readsb）がなければインストールし、受信機を Dataero に登録し、固

有の受信機 ID を生成し、メッセージを転送して接続を維持するサービスを設定し、最後に Dataero があなたの受信機からのデータを受け取れるか確認します。実行する前に、そのすべての行を GitHub で読むことができます。Pi で次の 3 つのコマンドを順番に入力します。

```
git clone https://github.com/dataero-adsb/dataero-adsb-feeder
cd dataero-adsb-feeder
sudo bash installer.sh
```

インストーラーはいくつか質問をします。それぞれの意味と答え方は次のとおりです。

インストーラーの質問	意味	答え方
Do you want to automatically install readsb? (yes/no)	この Pi にデコーダーが見つかりませんでした。readsb は、ドングルのサンプルをメッセージに変えるプログラムです。	yes と省略せずに入力します。それ以外の答えではインストーラーが止まります。ダウンロードとビルドには数分かかります。
Station name (optional)	地図とリーダーボードで受信機と一緒に表示される名前です。	短い名前にします。町の名前と一言、あるいは学校名などです。後でインストーラーを再実行すれば変更できます。
Enable MLAT for this receiver? (y/N)	マルチラテレーション（第 10 章）です。あなたの受信機の時刻情報が、位置を送信しない航空機の位置特定に役立ちます。アンテナの正確な位置が必要です。	初めてのインストールなら n、アンテナの位置を数メートル以内の精度で示せるなら y です。
Latitude, Longitude, Antenna altitude (metres)	アンテナのある場所です。MLAT では必須、それ以外では任意で、カバレッジマップと受信範囲の統計に使われます。	小数点にドットを使った 10 進数の度（50.8467, 4.3525）と、メートル単位の海抜高度です。高度は、住所の地盤標高に、地面からのアンテナの高さを足したものです。

位置を調べるには、オンライン地図を開き、アンテナのある正確な地点を右クリックして座標をコピーします。ほとんどの地図は小数点以下 6 桁を表示し、これは 10 センチメートルの精度です。地盤標高は地形図や、GPS アプリの「標高」欄で確認できます。そこに地面からのアンテナの高さを足してください（2 階の窓なら約 6 m、2 階建ての家の屋根の棟なら約 9 m）。スマートフォン自体が示す高度は 10〜20 メートルずれていることが多いので、地面の高さには地図を、残りにはメジャーを使ってください。推測した位置で MLAT を有効にしてはいけません。実際とは違う場所から「私はここにいる」という時刻情報を送る受信機は、参加するすべての計算結果の精度を下げてしまいます。

その後、インストーラーは数分間作業し、**Installation complete** で始まるバナーを表示して終了します。そこには、あなたの**受信機 ID**（英数字の長いコード、UUID）、局が接続している Dataero のハブ、そして Dataero との最初の通信結果が表示されます。登録サーバーが受信機のハートビートを受け付ければ、あなたの局は稼働しています。受信機 ID はあなたの局の鍵です。すべてのメッセージと一緒に送られ、局を自分のものとして登録するときにアカウントに貼り付けるのもこの ID です。最初にこの ID を紐付けたアカウントが受信機の所有者になるので、他人には教えないでください。もし紛失しても、Pi に保存されています。

```
sudo grep RECEIVER_UUID /usr/local/dataero-adsb-feeder/.env
```

インストーラーが動かしたままにするもの
起動のたびに自動で立ち上がる 3 つの小さなサービスです。デコーダーであり、ローカルマップも提供する *readsb*、ネットワーク専用の 2 つ目のデコーダーで、メッセージを絞り込んだストリームを Dataero のハブに転送する *dataero-readsb*、そして局が稼働中であることを Dataero に知らせるハートビートの *dataero-feeder* です。MLAT を有効にすると、4 つ目の *dataero-mlat* が加わります。後でインストーラーを再実行しても、受信機 ID、名前、位置は保持され、変更があった部分だけが更新されます。

ステップ 4

稼働開始と、受信機の登録

バナーが表示されてから 1 分以内に、最初の航空機が現れるはずです。3 か所を確認しましょう。Pi 自体では、下のコマンドで、解読中のすべての航空機の一覧がリアルタイムで表示されます。アドレス、コールサイン、高度、速度、dBFS 単位の信号強度が並びます。終了するには **q** を押します。readsb のインストーラーは Pi 上にローカルマップ **http://adsb.local/tar1090**（名前の代わりに IP アドレスでも可）も設定しており、ここではあなたの局から見た空が距離リング付きで表示されます。そして公開地図 **radar.dataero.eu** では、あなたの局が受信した航空機が、数秒以内に他の局のものと一緒に表示されます。

```
viewadsb
```

あなたの受信機は、すでに匿名でデータを提供しています。受信機を**登録**すると、あなたのアカウントに紐付けられ、サイトのフィーダー向け機能が使えるようになります。radar.dataero.eu を開き、無料アカウントを作成するかサインインして、アカウントメニューから**受信機**を開き、**受信機を連携**を選んで、インストーラーが表示した受信機 ID を貼り付けます。他のフィーダープログラムも動かしている場合でも、そちらの UUID ではなく、Dataero の受信機 ID を使ってください。その瞬間から、あなたの局は地図上で名前を持ち、**ダッシュボード**（受信した航空機、毎秒のメッセージ数、最も混雑する時間帯、最も珍しい航空機）、すべてのメッセージの信号強度から 2 次元・3 次元で描かれる**カバレッジマップ**、訪問者にはない **365 日分のフライト履歴**、そして**リーダーボード**での順位が手に入ります。登録する前に集めたデータも、すべてすでに反映されています。

最初の晩に期待できること：箱に付属のアンテナを窓際に置いた場合、ヨーロッパの混雑した地域では同時に 20〜60 機、距離 100〜150 km までで、建物の側には死角ができます。屋根裏に同調済みのアンテナを置けば、250 km までで 100〜200 機。屋根の上なら 200〜400 機で、何も遮るもののない方向では受信範囲が 400 km に達します。受信範囲よりも、ダッシュボードのメッセージ数のほうがよい指標です。よい局は、ヨーロッパの日中のピーク時に毎秒 500〜1 500 件のメッセージを解読し、深夜には数十件になります。1 日の曲線は、コースのレッスン 4 を目に見える形にしたものです。人が夜に移動しないから、航空機も夜は飛ばないのです。

ライブマップを開く https://radar.dataero.eu/ja/map

アカウントを作成して登録 https://radar.dataero.eu/ja/contribute

ステップ 5

調整と、見えているものの理解

局の性能のほとんどは 2 つの設定で決まり、どちらも Pi 上で一瞬で変更できます。1 つ目は**ゲイン**、つまりドングルがデジタル化する前にどれだけ増幅するかです。readsb は自動ゲインで起動し、これは妥当な妥協点です。真上の航空機が消えて遠くの航空機だけが残る場合は、近くの強い信号で受信機が過負荷になっており、ゲインが高すぎます。遠くの航空機がまったく現れない場合は、低すぎます。下のコマンドでゲインを dB 単位の固定値に設定できます。30〜49 の値（49.6 がドングルの最大値）を試し、それぞれ 10 分間、ローカルマップで航空機の数と最大受信距離を観察してください。アンプ内蔵のドングルでは、窓際なら通常 40〜45 が最適で、屋根の上ではそれより低くなります。値に -10 を入力すると自動に戻ります。

```
sudo readsb-gain 43
```

2 つ目は**ローカルマップの位置**です。readsb はこれを使って距離リングを描き、各航空機までの距離を計算します。これは Dataero のインストーラーに入力した位置（Dataero が使う位置）とは別のもので、2 つ目のコマンドで設定します。その後ローカルマップを開き、最も遠い航空機が描く輪郭が 1 日かけて広がっていく様子を見てください。その輪郭があなたの電波の水平線であり、その形はあなたの周りの障害物の形です。

```
sudo readsb-set-location 50.8467 4.3525
```

viewadsb の信号の列は、第 6 章の逆二乗の法則を数字で表したものです。10 km 先の真上を通過する航空機はおよそ -5 dBFS を示します。同じ航空機が 30 倍遠い 300 km 先にいると、届く信号は 900 分の 1、約 -30 dBFS になりますが、メッセージはノイズより強ければよいので、デコーダーはそれでも読み取れます。航空機があなたの空を横切るにつれて信号が強まり、また弱まっていくのを観察すれば、式を使わずにこの法則を測定したことになります。逆に、取りこぼしたメッセージの列の値が大きいときは、2 機の航空機からの強い信号が同時に届いて互いに乱し合っていることを示しています。これは第 11 章で説明している限界であり、30 キロメートル離れた別の受信機が、あなたが取りこぼしたメッセージを受信できる理由でもあります。

MLAT を有効にした場合、マルチラテレーションで位置が求められた航空機が Dataero の地図に表示され、あなたのローカルマップにも別のマーカーで戻ってきます。これらは自分では位置を送信しない航空機で、古いビジネスジェット、軍用輸送機、一部のヘリコプターなどです。それぞれに対するあなたの貢献は数ナノ秒の精度のタイムスタンプで、ハブはそれを使い、他の 3 つの局と合わせて第 10 章の双曲線を解きます。アンテナの位置がわずか 30 m ずれるだけで時刻情報が 10 分の 1 マイクロ秒ずれ、計算された航空機の位置が 1 キロメートルもずれてしまいます。インストーラーが正確な位置にこだわるのはそのためです。

うまく動かないとき

トラブルシューティング

ほとんどの問題は下の表のいずれかに当てはまり、それぞれ 1 行で確認できます。コマンドは、インストールのときと同じターミナル接続で Pi 上で実行します。

症状	最も考えられる原因	対処法
ssh で adsb.local が見つからない	ルーターがローカル名を解決できないか、Pi がネットワークにつながっていません。	ルーターの機器一覧にある IP アドレスを使います。Pi が一覧にない場合は、Imager で入力した Wi-Fi の情報を確認するか、Ethernet ケーブルを使ってください。
readsb が起動しない（「no device found」）	ドングルが認識されていません。USB ケーブルの接触不良、電源の力不足、または RTL-SDR ではないドングルが原因です。	ドングルと延長ケーブルを差し直し、lsusb を実行して「RTL2838」または「Realtek」があるか確認します。電源を公式のものに交換してください。
readsb は動いているが航空機が表示されない	アンテナがつながっていないか、ケーブルのコネクターが外れているか、アンテナが電波の陰にあります。	すべてのコネクターがしっかり締まっているか確認し、アンテナを空が開けた窓際に移します。都市部でフィルターなしの普通のドングルを使っている場合は、フィルターが必要かもしれません。
近くの航空機が消え、遠くの航空機は残る	過負荷です。ゲインが高すぎるか、近くに強い送信所があります。	ゲインを下げ（readsb-gain 35）、1090 MHz フィルターを追加します。
ローカルマップには航空機があるが、radar.dataero.eu には表示されない	フィーダーのサービスが動いていないか、Pi がインターネットにつながっていません。	下のステータスコマンドを実行します。「failed」と表示されたサービスは、そのログに理由が書かれています。インストーラーを再実行すると、設定が修復され、ID も保持されます。
Pi がランダムに再起動する、またはドングルが消える	電源です。ドングルは約 0.3 アンペアを消費し、弱い電源では電圧が下がります。	公式電源を使い、他の USB 機器を外して、赤い電源ランプが点灯し続けているか確認します。
登録時に「受信機が見つかりません」と表示される	別の UUID を貼り付けています（他のフィーダープログラムのもの、または入力ミス）。	ステップ 3 の grep コマンドで表示される値を貼り付けてください。それが Dataero の受信機 ID です。

```
sudo systemctl status readsb dataero-readsb dataero-feeder
sudo journalctl -u dataero-feeder -n 50
```

どれも役に立たない場合は、上の 2 つのコマンドの出力を添えて、フィーダーの GitHub ページで issue を作成してください。インストーラーを書いた開発者がそれを読みます。Dataero は「フィーダーになる」ページからリンクされたコミュニティチャンネルも運営しており、そこではほとんどの質問に、他のフィーダーが数時間以内に答えてくれます。

その後

動かし続けるために

受信機にはほとんど手間がかかりません。サービスは停電後も自動で立ち上がり、Pi には可動部品がなく、ドングルは何年も使えます。季節に一度、Pi に接続してステップ 2 の更新コマンドを再実行し、ダウンロードしたフォルダーからインストーラーを再実行してください（*cd dataero-adsb-feeder* のあとに *sudo bash installer.sh*）。インストーラーは最新のフィーダーを取得し、受信機 ID、名前、位置を保持し

たまま、前回の答えを初期値として同じ質問をします。アンテナを移動した場合は、インストーラーを再実行して新しい位置を入力してください。引っ越した場合も同じ手順だけで、他には何も変わりません。やめたくなったときは、同じフォルダーにアンインストーラーがあります。

局を健全に保つための習慣が 2 つあります。週に一度ダッシュボードを見ること。メッセージ数が一晩で半分になったら、ケーブルが緩んだか、木が伸びたということです。そして初日に、ローカルマップから 3 つの数字を書き留めておくこと。各方向の最大受信距離、夕方のピーク時の航空機数、メッセージ数です。これがあなたの基準値となり、その後に行うあらゆる変更（よりよいアンテナ、より高いマスト、フィルター）は、この基準値と比べて評価できます。その測定こそが、このコースが目指してきた科学です。

クラスやご家族で

受信機をプロジェクトにする

受信機は常設の観測装置であり、最もよい使い方は、コースの考え方を 1 つずつ検証する一連の測定を行うことです。ご家族なら、どれか 1 つで日曜日が埋まります。クラスなら、それぞれが 1 回の授業になり、授業と授業の間に局が集めたデータが宿題になります。ダッシュボードの時間別グラフ、カバレッジマップ、ローカルマップの受信範囲の輪郭が観測装置です。授業が予測を与え、測定が答えを出します。

1. **高さと受信範囲**（第 7 章）。アンテナをテーブルの上、1 階の窓、最上階の窓、屋根裏に置いたときの最大受信距離を記録します。高さに対する受信範囲をグラフにし、電波の水平線の式と比べましょう。その差が障害物です。
2. **逆二乗の法則**（第 6 章）。viewadsb で 1 機の航空機を追い、空を横切る間、1 分ごとに信号と距離を記録します。dB 単位の信号を距離の対数に対してグラフにすると、傾きは 10 倍ごとに -20 dB に近くなるはずです。
3. **1 日のリズム**（レッスン 4）。1 週間、ダッシュボードで 1 時間ごとのメッセージ数を読み取ります。朝の波、夕方のピーク、最寄りの空港の夜間飛行制限、平日と日曜日の違いなど、曲線の形を説明しましょう。
4. **空の終わるところ**。1 週間後にローカルマップの受信範囲の輪郭をなぞり、周辺の地図と重ねます。へこみの一つひとつが建物、丘、木です。それぞれに名前を付けましょう。
5. **地図の質は受信する人の数で決まる**（第 11 章）。ある晩、あなたの局のカバレッジマップと公開地図を比べてみましょう。あなたが受信していない航空機は、他の誰かが受信しています。リーダーボードで最も近い他の局を見つけ、式を使って、あなたの円とどこで重なるかを計算しましょう。

学校では、廊下の画面にローカルマップを映しておけば、どのクラスでも出る「あの飛行機は何？」という質問にも答えられます。ダッシュボードの「最も珍しい航空機」の一覧は、毎月の驚きです。政府専用機、往年の旅客機、ドクターヘリなど、どれもそこにいる理由についての物語を持っています。そして、Dataero にデータを提供する学校の局は、学校名を情報源として公開地図に表示されます。これは、たいていの名声よりも価値のあるものです。

ようこそ

フィーダーが得るもの、そしてあなたが地図にもたらすもの

radar.dataero.eu の訪問者が見られるのは、ライブマップ、上限のある数の航空機、航空機ごとのいくつかの項目で、1 回 10 分の閲覧セッションに限られます。無料アカウントではセッションの制限がなくなり、すべての項目が表示され、7 日分のフライト履歴が残ります。そして今のあなたであるフィーダーは、サイトのすべてを利用できます。すべてのフライトの 365 日分の履歴、ダッシュボード、2 次元・3 次元のカバレッジマップ、リーダーボード、そして地図上で名前が表示される局です。今も今後も、どれにも費用は一切かからず、受信機は、あなたが追加したいと思う他のネットワークへのデータ提供も続けられます。

あなたが地図にもたらすのは、お金では買えないもの、つまり誰もいなかった場所の受信者です。ネットワーク上のすべての受信機は空の 1 つの円を受信しており、大陸がカバーされるのは、それらの円が重なり合う場所だけです。空白地帯（村、海岸、谷、フィーダーの少ない国）に新しい局ができると、誰も受信していなかった航空機が現れ、位置を送信しない航空機のマルチラテレーションも可能になります。今夜、地図であなたの地域のカバレッジを見てください。そして、局が稼働してから 1 週間後にもう一度見てください。その違いは、あなたがもたらしたものです。

フィーダーになる https://radar.dataero.eu/ja/contribute

ライブマップを開く https://radar.dataero.eu/ja/map

コースのホームに戻る https://radar.dataero.eu/ja/learning