

8. 受動型SSR のADS-B に対する 位置誤差解析

監視通信領域
福井医療大学

北折 潤
塩見 格一

M P A T

- はじめに
 - PSSR測位原理
- 比較検証データの概要
 - ログの分離と対応付け
 - DAG航跡抽出法
- 測位精度比較
 - 角度オフセット
 - 距離オフセット
 - ランダム誤差
- まとめ

はじめに

- SSR: 二次監視レーダ

- 地上SSRから質問信号を発生し、航空機トランスポンダからの応答信号を受ける
- 応答信号から航空機識別情報や高度等が得られる
- 日本では主要空港や航空路などに40数カ所設置
- 民間航空で使うSSRの質問信号はモードA/C/Sの3種類
 - モードA: 航空機に一時的に割り振られる識別符号(ビーコンコード/スコーク)
 - モードC: 航空機の気圧高度情報
 - モードS: 航空機への個別質問及び空地間データ通信機能により様々な情報を提供可能
- モードS対応トランスポンダは主に大型機に搭載
- モードA/Cはどのトランスポンダでも応答可



- PSSR: 受動型二次監視レーダ
 - SSR局周辺に設置する
 - 信号受信のみで航空機を識別し測位できる
 - 無線局免許及び無線従事者免許が不要
 - 製作費、設置運用費が安い
 - 航跡データに架空目標(ゴースト)が生じやすい
 - 用途: 航空機騒音の空港環境評価用測位センサ等
 - **これまで測位精度についての比較検証例がなかった**
- ADS-B: 放送型自動従属監視
 - 航空機的位置情報は、搭載しているGPSから得る
 - 概ね機体スケール以下の測位精度がある
 - PSSR の測位精度評価へのリファレンスとして有用

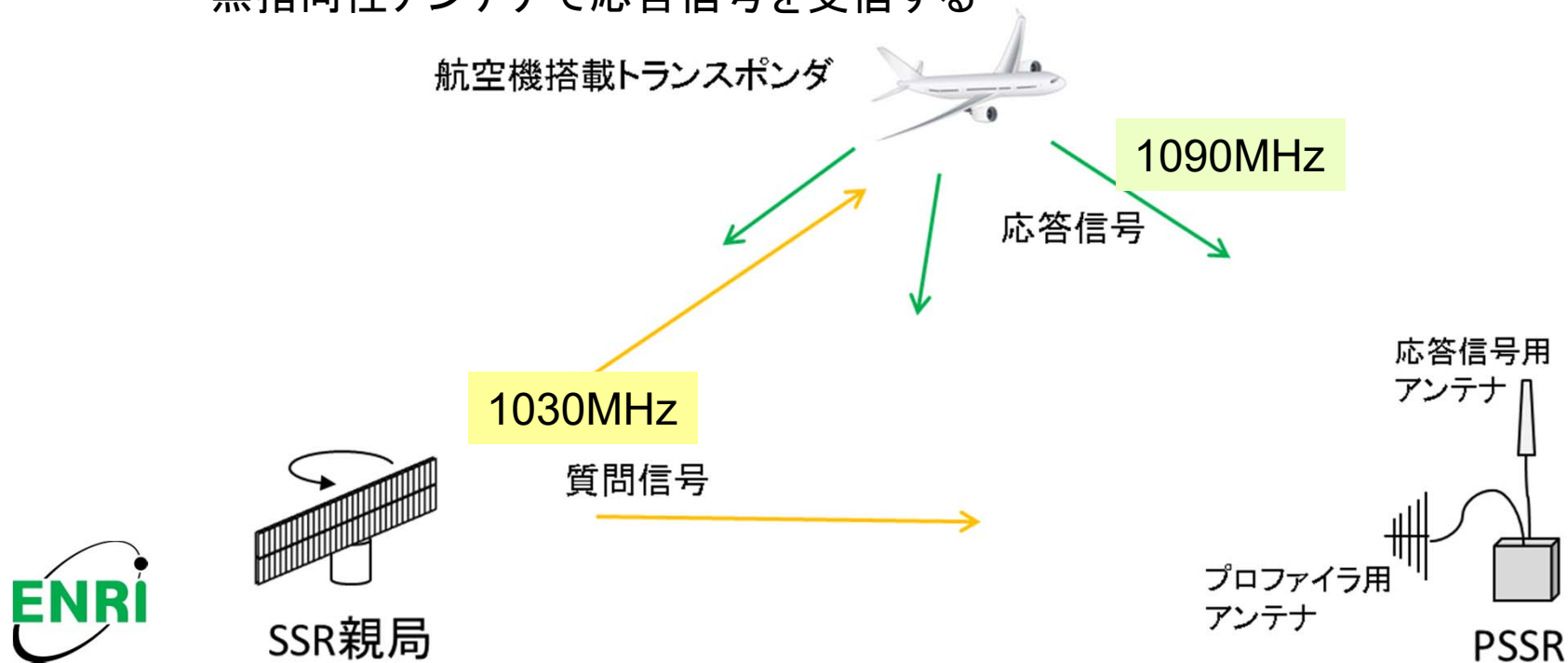
モードA/Cの受信データだけでも航跡が得られる

PSSRの航跡測位精度についてADS-B位置情報と比較検証する

PSSR測位原理

- SSR親局
 - 地上からモードA/C/(S)の質問信号を発する
- ATCTランスポンダ
 - 質問信号に対する応答信号を発する
- PSSR
 - プロファイラ用アンテナでSSR親局アンテナが自分に正対するタイミングと、質問信号の質問パターン、質問間隔を測る
 - 無指向性アンテナで応答信号を受信する

空港監視レーダ: 1回転4秒
航空路監視レーダ: 1回転10秒



PSSR測位原理-2

- SSR親局のアンテナ回転角
 - 正対する質問信号の周期から求める
- 航空機Aの飛行高度
 - モードCの応答情報を利用する
- S→A→Pの信号到達時間差
 - 距離Dに換算する

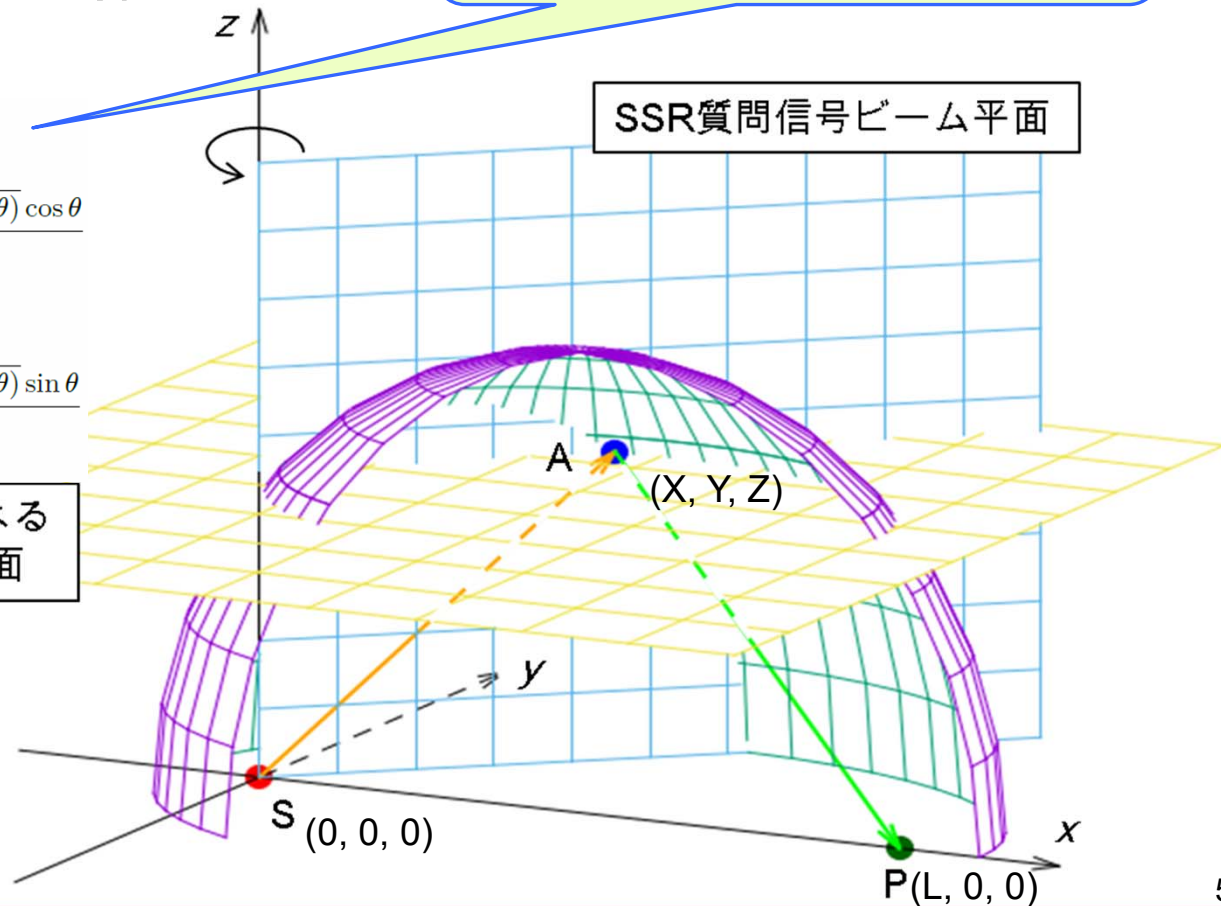
$$X = \frac{L(D^2 - L^2) \cos^2 \theta}{2(D^2 - L^2 \cos^2 \theta)} \pm \frac{D \sqrt{(D^2 - L^2)^2 - 4h^2(D^2 - L^2 \cos^2 \theta)} \cos \theta}{2(D^2 - L^2 \cos^2 \theta)}$$

$$Y = \frac{L(D^2 - L^2) \sin \theta \cos \theta}{2(D^2 - L^2 \cos^2 \theta)} \pm \frac{D \sqrt{(D^2 - L^2)^2 - 4h^2(D^2 - L^2 \cos^2 \theta)} \sin \theta}{2(D^2 - L^2 \cos^2 \theta)}$$

$$Z = h$$

モードCによる
飛行高度平面

X,Yの解にある複号はアンテナ
回転角の向きに応じて選択する



楕円測位法

比較検証データの概要

- 取得時期及び対象SSR

- 2012/平成24年

- 伊丹(大阪国際)空港
 - 関西国際空港

- 2014/平成26年

- 中部国際空港
 - 名古屋(小牧)空港

- 取得期間

- 各1~2日間

- 検証用航跡データ

- モードA/Cトランスポンダ応答信号

- 空港SSRを原点とするxy直交座標系

- ADS-B航空機位置情報

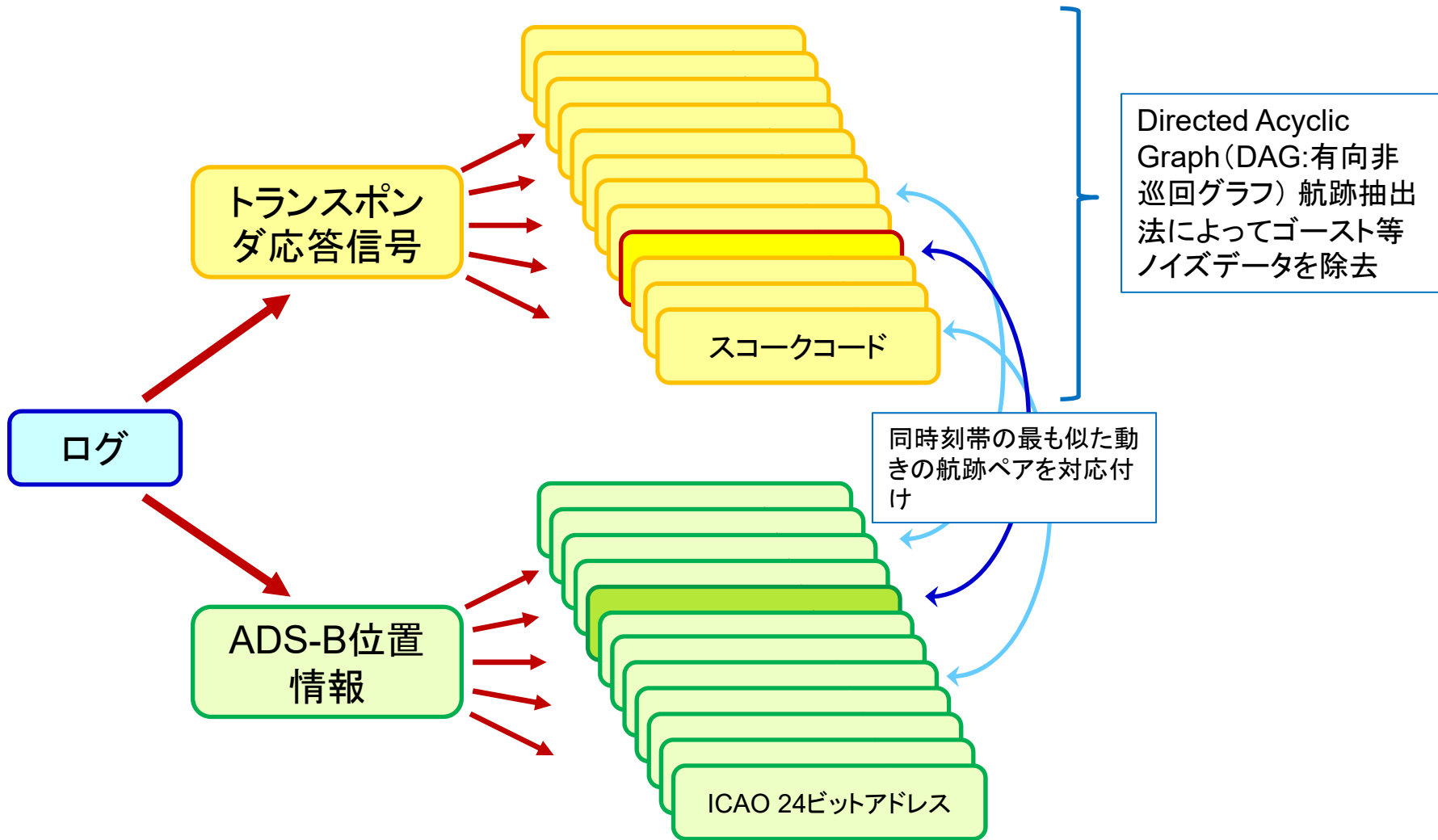
- 緯度経度情報→上記xy直交座標系へ変換



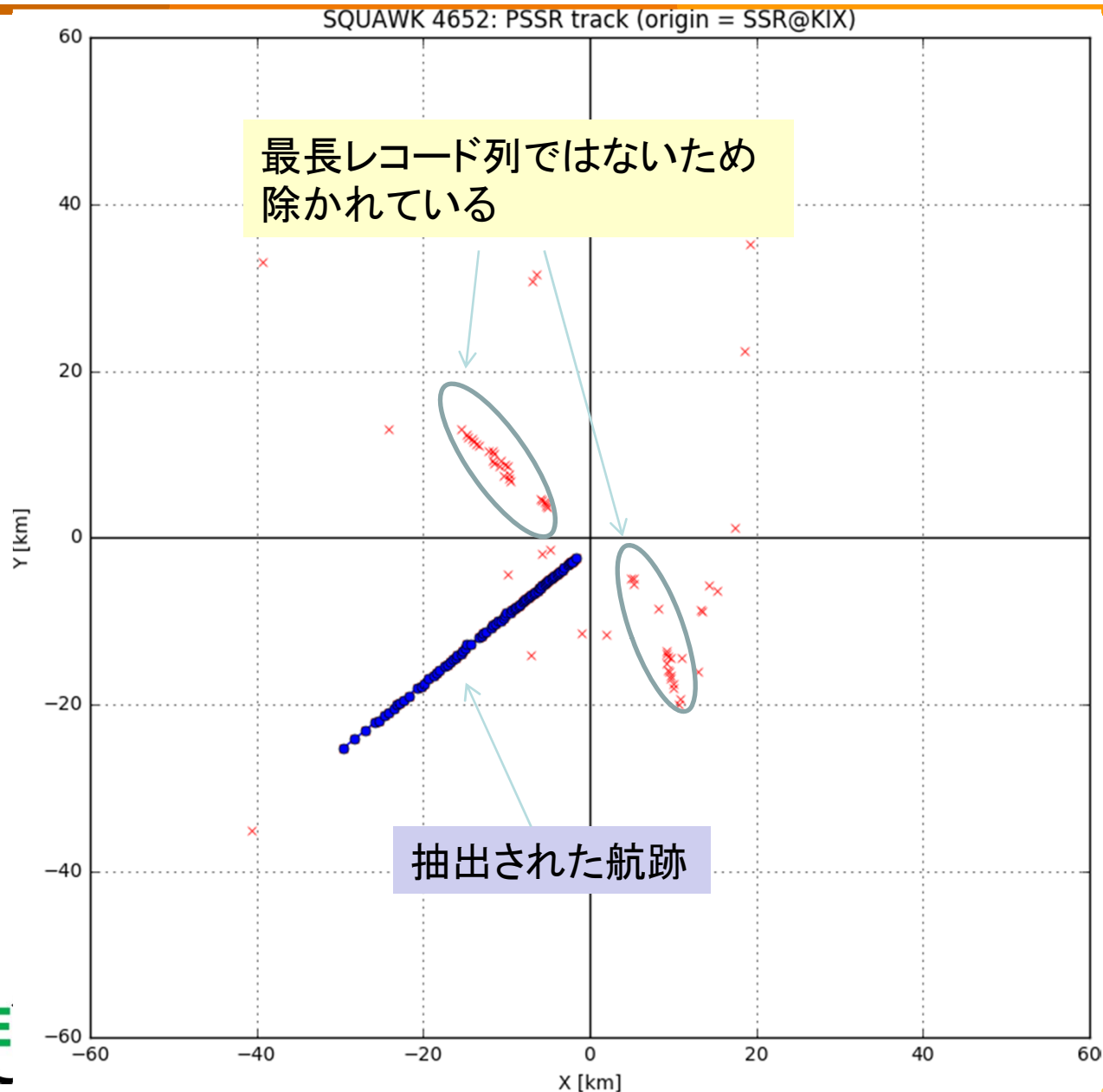
PSSR受信機 PRIUS-1

PRIUS-1はモードA/Cの他、
モードS/ADS-Bも解読可能

ログの分離と対応付け



DAG航跡抽出法の適用例



抽出法の概要

- 受信データの各点 (レコード) の時間的順序と距離関係性を **DAG:有向非巡回グラフ** というデータ構造で記述する
- DAGでは **最長経路** を求めることが容易
- DAGの最長経路が PSSR受信データ最長レコード列に相当する
- 最長レコード列を最も航跡である可能性が高いものとして抽出する

DAG航跡抽出法の特徴

- 挙動が予測困難な航跡にも対応できる
 - ノイズデータが多いと抽出結果が本来の航跡から外れやすくなる
- 繰り返し適用することで複数の航跡抽出もできる
- 受信点レコードの位置関係性により、孤立点はほぼ自動的に除外される
- 最長経路算出アルゴリズムはノード数と有向エッジ数に比例する計算量であるため高速に結果を得られる
- 最長経路を確定するには、ある程度の長さ観測時間が必要のため処理に遅延が生じる
 - リアルタイム性に劣るが、事後的に航跡を抽出したいニーズもある
- 平滑化等のフィルタリングは行っていない

既に得られているレーダデータからの
航跡抽出に適している

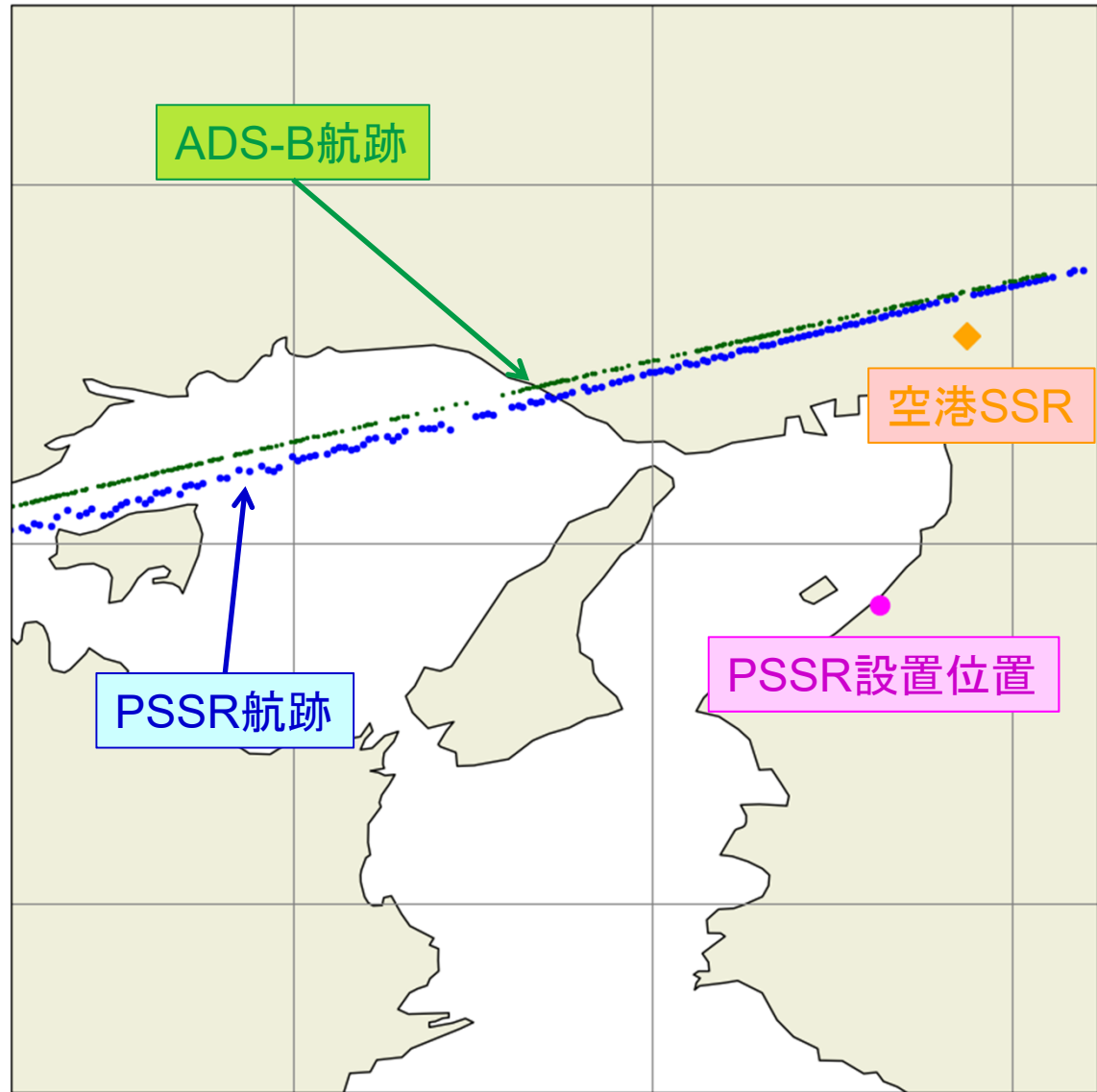
測位精度比較-例1

対象：伊丹空港SSR

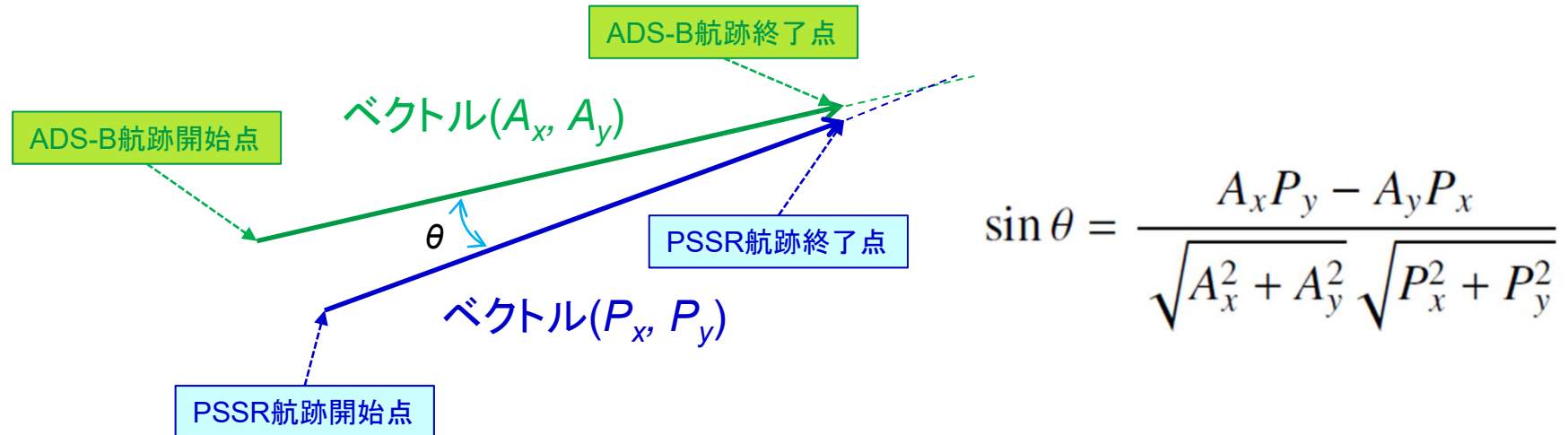
ADS-B航跡に比べて
PSSR航跡は遠方ほどズレ
が大きくなっている



角度オフセットがあると考
えられる



角度オフセット



角度オフセットは両局から遠距離であるほど測位のずれが大きくなる

本来の座標から設定上の座標までの直線距離

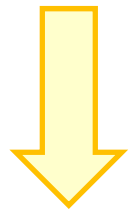
表1 角度オフセット推定結果と SSR/PSSR 局設定位置関係

SSR 局	角度 オフセット [°]	PSSR 局設置場所	SSR 局-PSSR 局 間距離 [km]	SSR 局座標 設定のずれ [m]
伊丹	1.15	大阪府 泉佐野市	43.0	1110
関西国際	0.32	大阪府 泉佐野市	5.0	493
中部国際	0.49	愛知県 常滑市	2.7	36
名古屋	-0.32	愛知県 丹羽郡 扶桑町	9.8	24

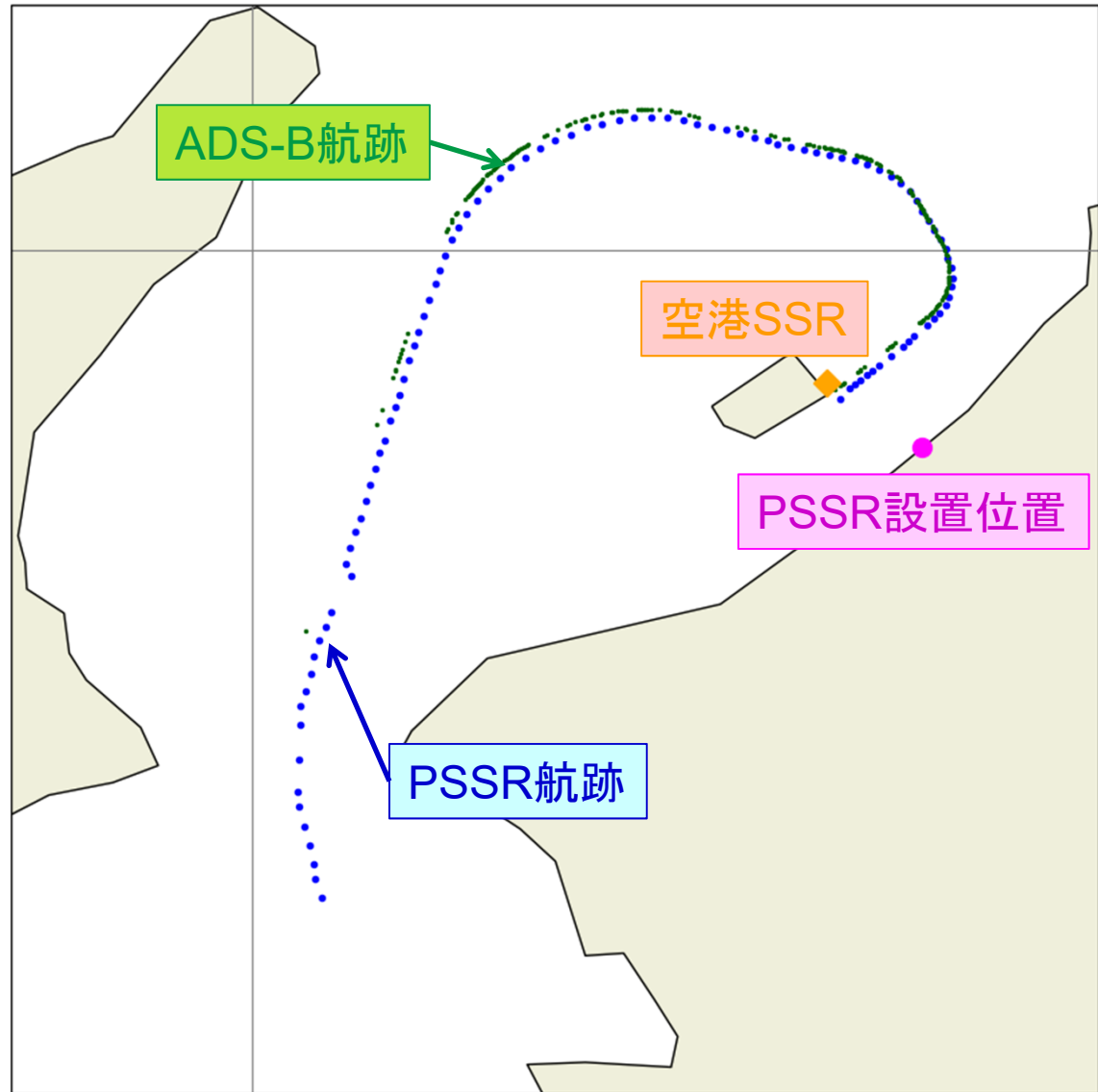
測位精度比較-例2

対象：関西国際空港
SSR

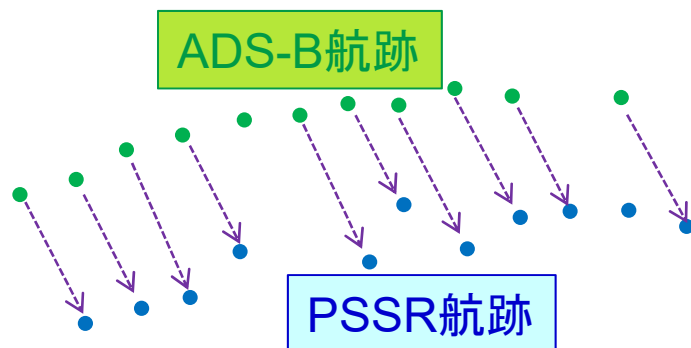
ADS-B航跡に対して平行
移動したようなPSSR航跡
となっている



(平行)距離オフセットがあ
ると考えられる



距離オフセット



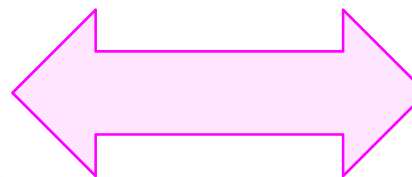
ADS-B航跡の各点からそれに対応するPSSR航跡の各点へのベクトルを計算し、これらのベクトルの平均から距離オフセットを求めた

局近傍では距離オフセットが角度オフセットに比べ優勢

表2 距離オフセット推定結果

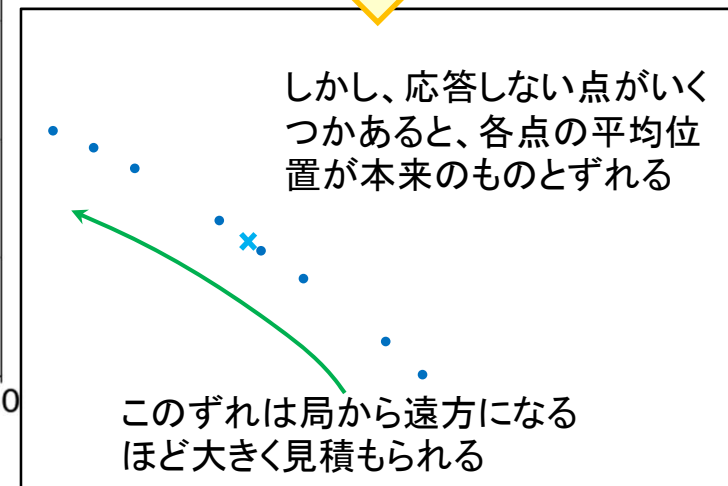
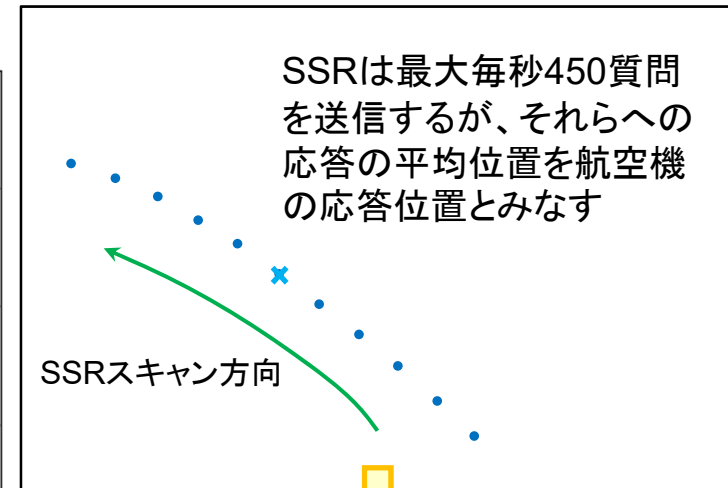
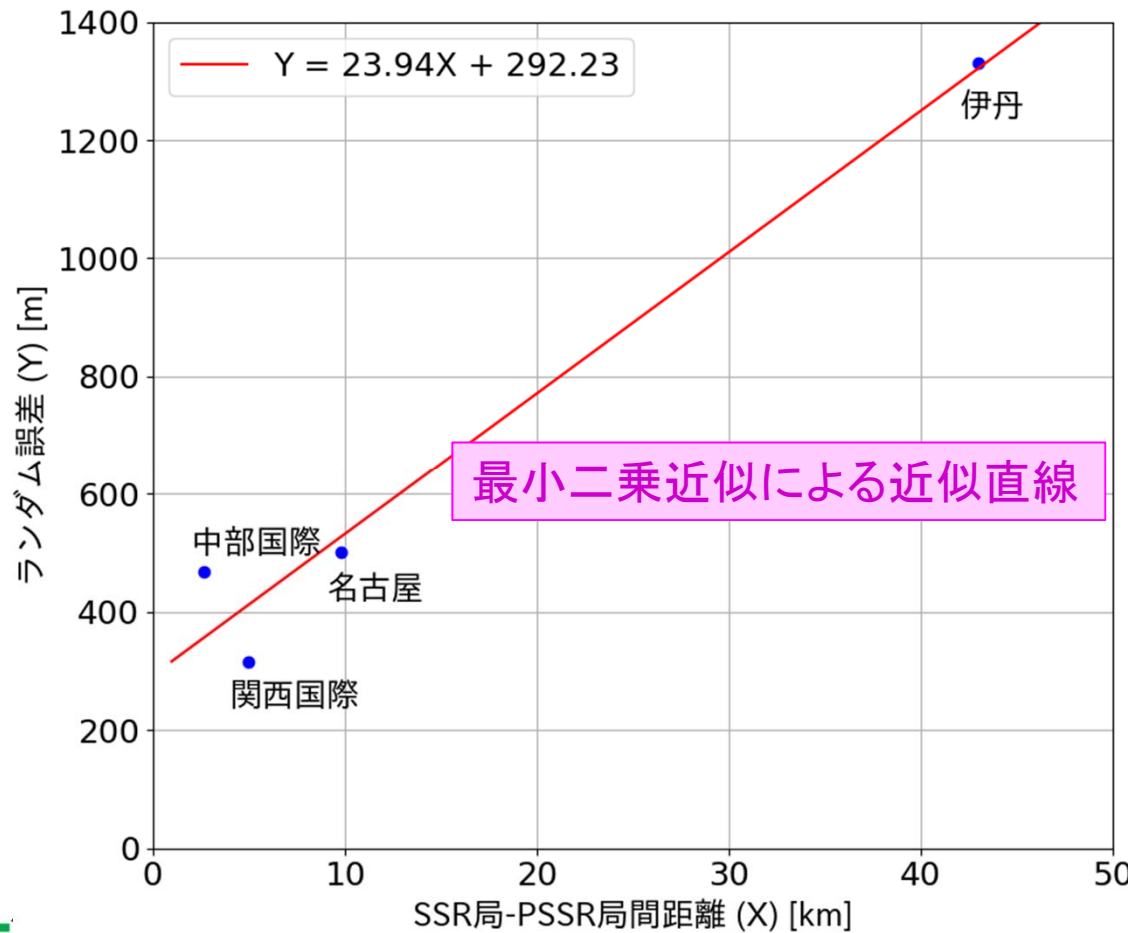
SSR 局	x 方向オフセット [m]	y 方向オフセット [m]	SSR 局座標設定のずれ [m]
伊丹	1166	-1659	1110
関西国際	267	-319	493
中部国際	-40	-115	36
名古屋	-68	44	24

概ね設定位置のずれの量に比例した距離オフセット



ランダム誤差

- PSSR航跡データから距離オフセット及び角度オフセットの影響を取り除いた上で残る誤差(ランダム誤差)



まとめ

- 過去取得したPSSR及びADS-Bの測位データを用いてPSSR航跡の測位精度がADS-B航跡に比べてどの程度のものであるかを比較検証した。
 - ADS-Bの位置情報をリファレンスとして使用
- 局の座標設定のずれが角度オフセット及び距離オフセットとして現れる。
 - PSSRの運用における座標設定の重要性
- SSR局とPSSR局間距離が長い場合には楕円測位の原理上、ランダム誤差が大きくなる傾向がある。
- 今回、角度オフセットと距離オフセットの影響が大きかったと考えられる。座標設定を精密に行った上で、オフセットの影響を抑えた測位データでランダム誤差について再度検証することが望ましい。

ご清聴ありがとうございました
ございました

本研究に使用した受信データを
ご提供下さいました
IRT 青山秀次様に感謝致します