

[2]
ADS-B方式高度監視に係る
ADS-B幾何高度基準の判別

監視通信領域

○松永 圭左, 金田 直樹, 宮崎 裕己

令和3年6月9日
第21回 電子航法研究所 研究発表会

— 発表内容 —

1. 背景
2. 高度監視の概要
3. 幾何高度差を用いたADS-B幾何高度基準判別手法
 - ADS-BとHMUの幾何高度差
 - 幾何高度差の分布推定
 - 航空機の幾何高度基準判別
4. まとめ

1. 背景(1) – RVSM運用 –

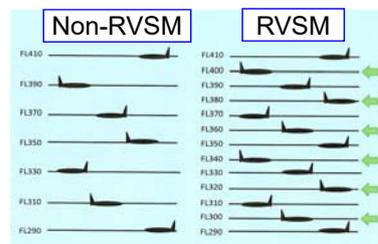
◆ 短縮垂直間隔 (RVSM; Reduced Vertical Separation Minimum)

気圧高度29,000~41,000[ft]の空域において、
垂直方向の管制間隔を従来の2,000[ft]から1,000[ft]に短縮

… 日本の管制空域(福岡FIR)では、
2005年から全域に導入



- ✓ 空域容量の増加
- ✓ 燃料・飛行時間の削減



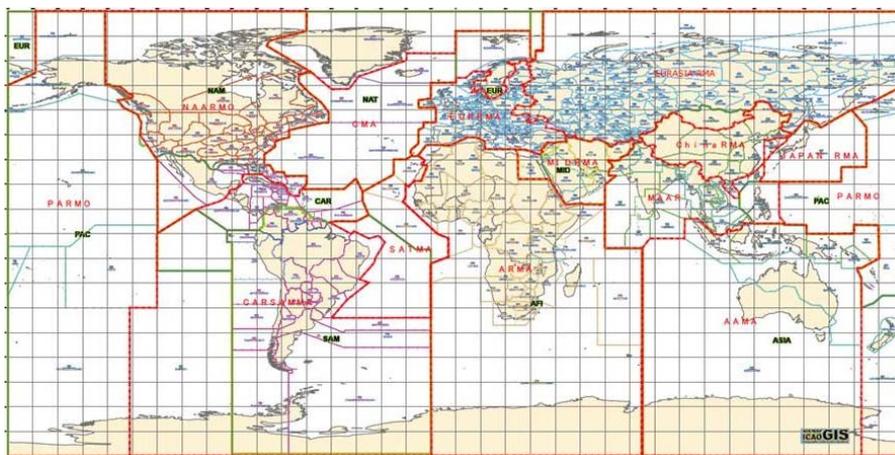
<https://www.jasma.jp/>

- RVSM導入後、安全性評価として
ICAOの承認を受けた地域監視機関(RMA; Regional Monitoring Agency)が
担当空域を飛行するRVSM承認機の**高度維持性能監視**を実施

1. 背景(2) – 地域監視機関(RMA) –

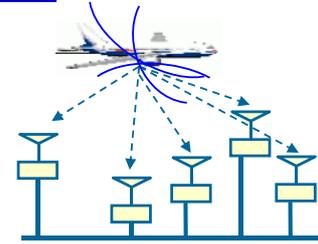
- 福岡FIRは

JASMA (Japan Airspace Safety Monitoring Agency) が担当

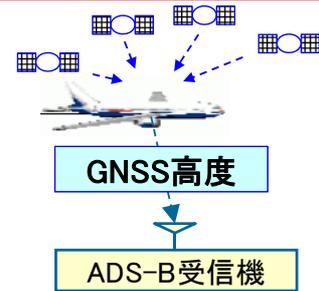


1. 背景(3) - 高度監視システム - (HMS; Height Monitoring System)

- マルチラレーション(MLAT)方式
 - …現在, 日本で航空局が運用中(HMU)
 - ・ 覆域半径~40NM
 - ・ 複数の受信局, 精密な時刻同期装置が必要



- **ADS-B方式HMS(AHMS)**
航空機から放送されるADS-Bデータを利用
 - 覆域が広い~200NM(広範囲で測定可)
 - *飛行経路の制限が緩和されるため, 運航者の負担が少ない*
 - 整備・運用コストが低い



1. 背景(4) - 研究の目的 -

[状況] ● 日本(, 欧州, 米国, 等)で, MLAT方式高度監視システムを運用中
 ● 他地域(豪州, タイ, 中国)で, ADS-B方式高度監視システムを運用中

[ニーズ] 日本におけるADS-B方式高度監視システム導入検討のための性能評価

[研究] 実データを用いた誤差要因の影響評価

→ 成果 : 日本での導入時の性能評価, 対応策・要件の導出

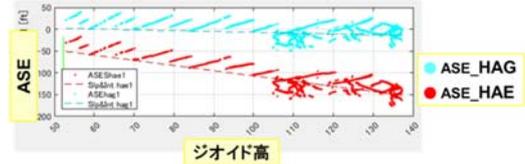
ADS-B方式監視システム
導入後の効果

- ✓ 監視覆域の拡大 → 運航者の負担減
- ✓ 地上受信局数の低減 → 整備・運用コスト減

1. 背景(5) – AHMS導入時の課題と対応 –

<課題>

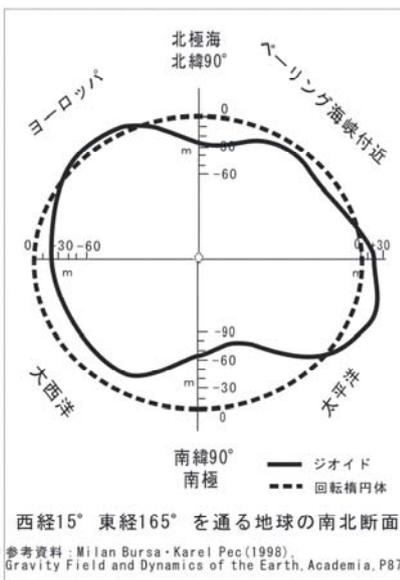
- ・ 先行研究の結果, **ADS-Bデータに含まれる幾何高度が, 基準面の違い**により2種類あり(航空機毎に異なる), 高度監視システムで判別の必要がある
- ・ 先行研究では, **ADS-Bデータのみ**を利用し, 幾何高度基準の判別を実施
(ASE vs 飛行位置のジオイド面の高度)
→ **約8割の機体が, 判別不能となる結果**



<対応>

- ・ 本研究では, ADS-B幾何高度を, 運用中のHMUの幾何高度と比較する手法で, 幾何高度基準の判別を実施
 - ✓ HMU幾何高度は基準面が既知
 - ✓ 気圧高度を用いない手法のため, 気象データの誤差の影響を受けない

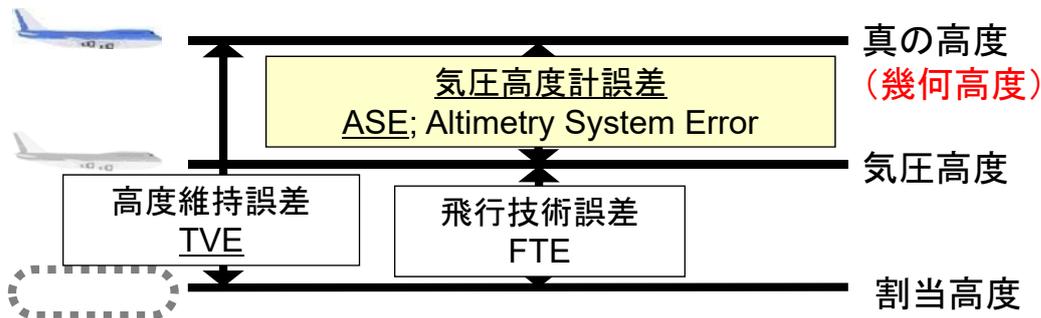
1. 背景(6) – 幾何高度基準 –



- **ジオイド面**: (≒平均海水面)
 - … 気圧高度等の基準
 - ジオイド面からの高度 **HAG** (Height Above Geoid)
- **楕円体面**:
 - 地球を完全な回転楕円体としたモデルの地表面 (長短半径の値で定義される)
 - … GNSS等で使用 (例: WGS-84座標系)
 - 楕円体面からの高度 **HAE** (Height Above Ellipsoid)

国土地理院HPより

2. 高度監視の概要 (1) – 高度誤差と性能要件 –



ICAO規定値 (Doc9574, Doc9937)

- 監視システムの測定要件
高度維持誤差(TVE=ASE+FTE)の測定誤差: 平均 0 [ft] ; 標準偏差 < 50 [ft]
- RVSM非適合航空機の判定
TVE \geq 300 [ft] ; ASE \geq 245 [ft]

2. 高度監視の概要 (2) – 高度誤差の測定 –

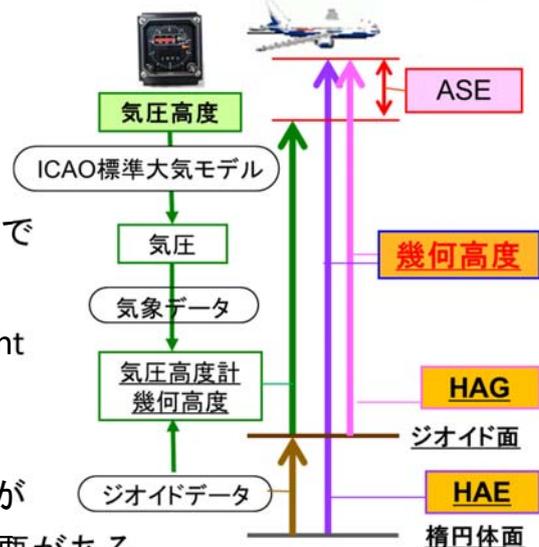
- ✓ 高度維持性能監視では, 航空機の高度誤差 (ASE; Altimetry System Error) 等を測定
- ✓ 高度誤差の測定には, 幾何高度が必要

□ HMUでは, マルチラレーション(MLAT)方式で幾何高度を測定

□ ADS-B方式監視システム(AHMS; ADS-B Height Monitoring System)では,

ADS-B情報に含まれるGNSS幾何高度を使用

- ADS-B情報には幾何高度基準を示す情報が含まれていないため, AHMSで判別する必要がある



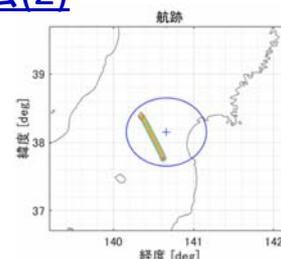
3. 幾何高度差を用いた幾何高度基準判別手法(1) — 解析データ —

- 仙台HMUデータ(航空局から提供)
 収集期間:2020年1月20日~2月20日
 - 受信データ(生データ)・・・航空機から1090MHz信号を受信すると記録
 モードSアドレス, 日時, 緯度経度, HMU幾何高度, 気圧高度, 等
 - 集計データ(航跡データ)・・・1航跡分(同一FL, 直線飛行, 20NM以上)
 航跡の時刻, FL, 算出(平均)した高度誤差, 等

- ADS-Bデータ (設置場所:電子航法研究所岩沼分室)
 仙台HMUと同じ収集期間のデータ
 モードSアドレス, 受信時刻, 緯度経度, ADS-B幾何高度, 気圧高度, 等

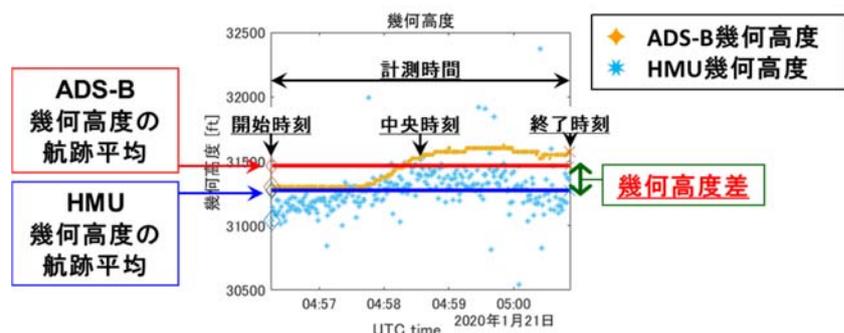
3. 幾何高度差を用いた幾何高度基準判別手法(2) — 航跡毎の幾何高度差 —

- HMUの集計(航跡)データの範囲について,
 航跡毎にADS-B幾何高度とHMU幾何高度の
 平均を求め, 各平均の差(幾何高度差)を計算



※ 仙台HMUの測定範囲
 (半径 30 NM)において,
 HMU受信データおよび
 ADS-Bデータが双方100点
 以上収集された航跡

データ期間中, 3,256航跡



3. 幾何高度差を用いた幾何高度基準判別手法(3)

— 幾何高度差(全航跡)の度数分布 —

2つのピーク ← 2つの独立な正規分布を混合した混合正規分布
 期待値最大化(Expectation Maximization, EM)アルゴリズムを用いた
 最尤推定を実施(平均 μ_1, μ_2 , 標準偏差 σ_1, σ_2 , 構成比 r を推定)

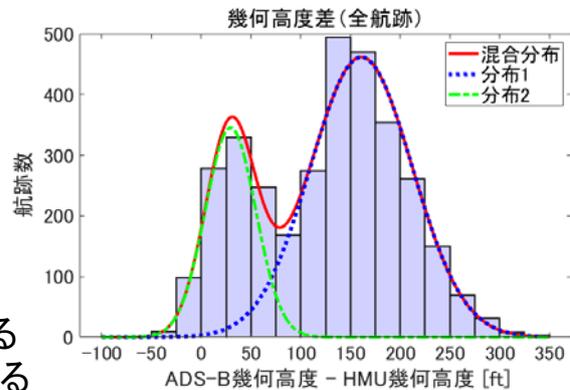
・ 分布1 (r180.8%)

$$\mu_{all,1} = 170.92[\text{ft}], \sigma_{all,1} = 72.90[\text{ft}]$$

・ 分布2 (19.2%)

$$\mu_{all,2} = 39.22[\text{ft}], \sigma_{all,2} = 23.02[\text{ft}]$$

- 分布1,2の平均の差($\mu_1 - \mu_2$)は、
 仙台HMU付近のジオイド高に近い
 → 分布1/2は、
 ADS-B幾何高度がHAE/HAGである
 航空機の幾何高度差分布と考えられる



3. 幾何高度差を用いた幾何高度基準判別方式(4)

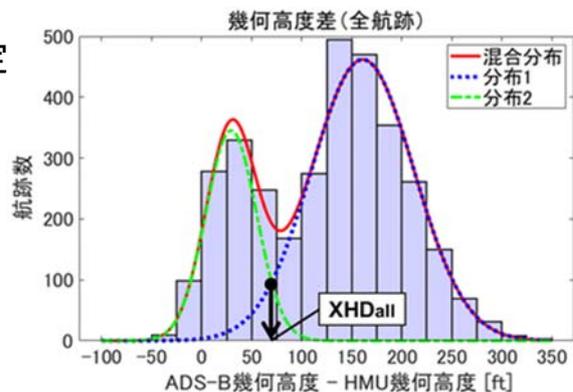
— 幾何高度差(航空機タイプグループ毎)の分布推定 —

■ 航空機タイプグループ:

高度維持性能の精度が同一であるとみなせる機種の種類集合

○ 航空機タイプグループ毎に分布を推定

- ✓ 分布数(1 or 2)は
 情報量規準(BIC)を用いて判定
- ✓ 分布の属性(HAE or HAG)は、
 全航跡のHAE/HAG推定分布の交点
 (XHDall) を元に判定



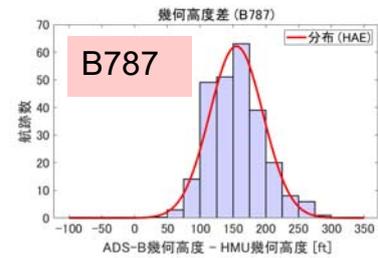
3. 幾何高度差を用いた幾何高度基準判別方式(5)

ー 幾何高度差(航空機タイプグループ毎)の分布推定結果ー

- ADS-B幾何高度がHAEのみと推定された航空機タイプグループ

B744-10, B748, B787, A330, A350, A380

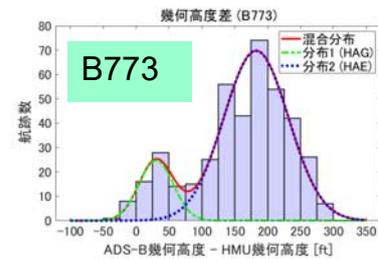
※ B744-10, A350は分布数=2



- ADS-B幾何高度がHAE/HAG混在と推定された航空機タイプグループ

B737NX, B767, B772, B773, A320

※ 航跡数が32未満の航空機タイプグループについては、分布推定していない



3. 幾何高度差を用いた幾何高度基準判別方式(6)

ー 航空機の幾何高度基準判別ー

- 航空機タイプグループ毎に推定した分布の確率密度関数を用いて各航空機の航跡毎の幾何高度差における確率密度を求め、航空機が放送しているADS-B幾何高度がHAGかHAEを判別

※ 航跡の幾何高度差について、(いずれの)分布の3σ内に収まらない航跡は、外れ値として除外

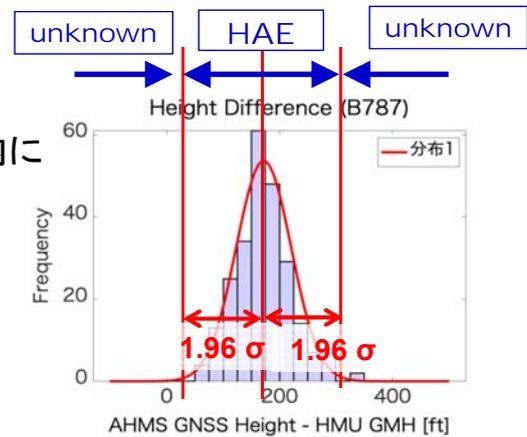
※ 外れ値の航跡のみの航空機の判別結果は、判別不能(Unknown)とした

※ 複数の航跡の幾何高度差が得られている航空機については、航跡毎の確率密度の相乗平均を用いた

3. 幾何高度差を用いた幾何高度基準判別方式(7) ー 航空機の幾何高度基準判別ー

◆ ADS-B幾何高度がHAEのみと推定された航空機タイプグループの航空機

- 幾何高度差が、推定分布の 1.96σ (~95%)内に
 - 収まらない航空機 : Unknown
 - 収まる航空機 : HAE



3. 幾何高度差を用いた幾何高度基準判別方式(7) ー 航空機の幾何高度基準判別ー

◆ ADS-B幾何高度がHAE/HAG混在と推定された航空機タイプグループの航空機

- 幾何高度差が、いずれの推定分布の 1.96σ (~95%)内に
 - 収まらない航空機 : Unknown

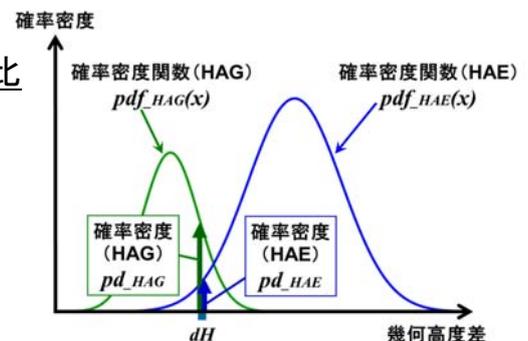
➢ HAG/HAEの推定分布における確率密度の比

$$P_{HAG} = pd_{HAG} / (pd_{HAG} + pd_{HAE})$$

$$P_{HAE} = pd_{HAE} / (pd_{HAG} + pd_{HAE})$$

を求め、

- $P_{HAG} \geq 95\%$ の場合 : HAG
- $P_{HAE} \geq 95\%$ の場合 : HAE
- それ以外の場合 : 判別不能(Unknown)



3. 幾何高度差を用いた幾何高度基準判別方式(8) ー 航空機の幾何高度基準判別結果ー

➤ 全航空機 967機中 676機(69.91%)の航空機の判別結果が得られた

従前の手法と比して、判別可能となる航空機の割合が飛躍的に向上した

判別結果	HAG	HAE	判別不能 (Unknown)
全航空機 967機	17 機 1.76 %	657 機 68.15 %	291 機 30.09 %

※ 判別不能となった航空機数には、以下が含まれる

- ・航跡数が32未満の航空機タイプグループの航空機(71機)
- ・航空機タイプグループが不明な航空機(35機)

4. まとめ

- 日本におけるAHMS導入検討のための性能評価として、ADS-B幾何高度基準の判別手法を開発し、仙台HMUとADS-B受信機の実データを用いた評価を行った
- HMU幾何高度とADS-B幾何高度の航跡毎の平均の差(幾何高度差)を求め、幾何高度差の度数分布から航空機タイプグループ毎の分布の確率密度関数を推定し、航空機のADS-B幾何高度基準の判別を行った
- 約7割の航空機の判別結果が得られ、従前の手法と比して判別可能となる航空機の割合が飛躍的に向上した

日本周辺のジオイド高 (回転楕円体からのジオイド面の高度)

