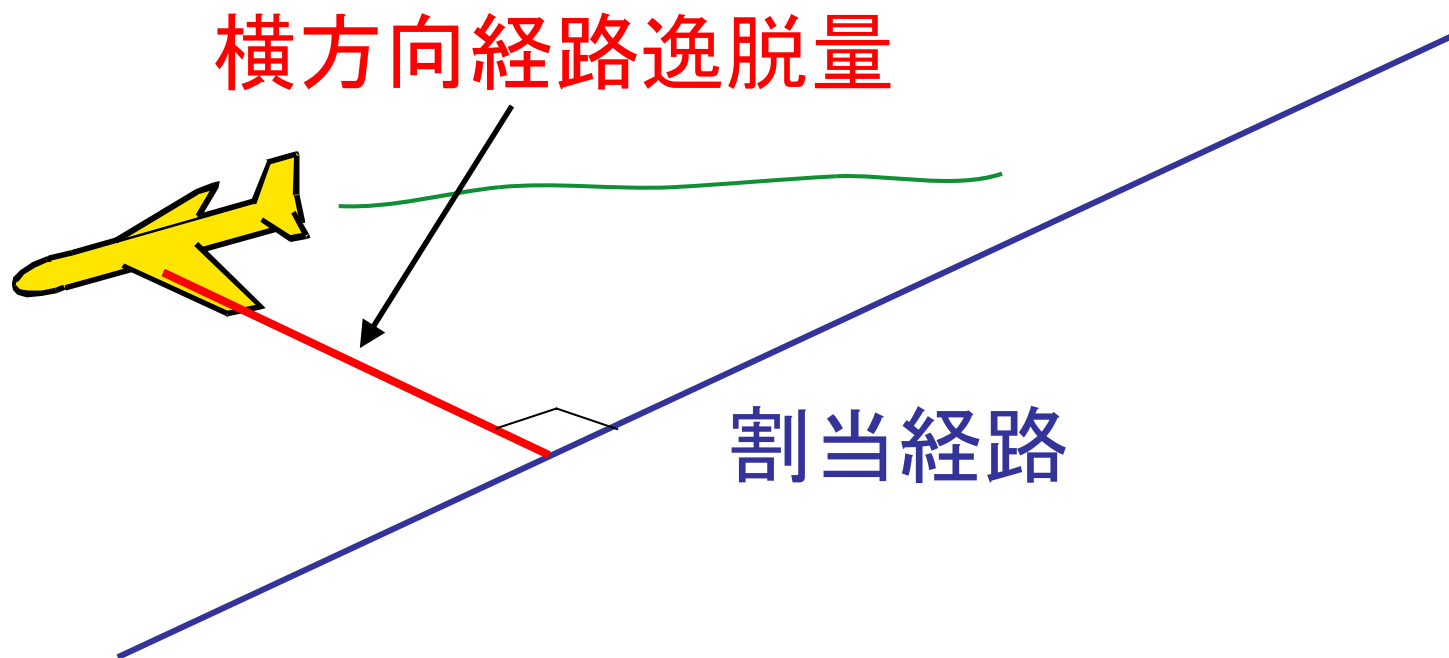


RNAV(広域航法)到着経路における 航空機の横方向の航法精度の推定

航空交通管理領域

天井 治・藤田 雅人



内容

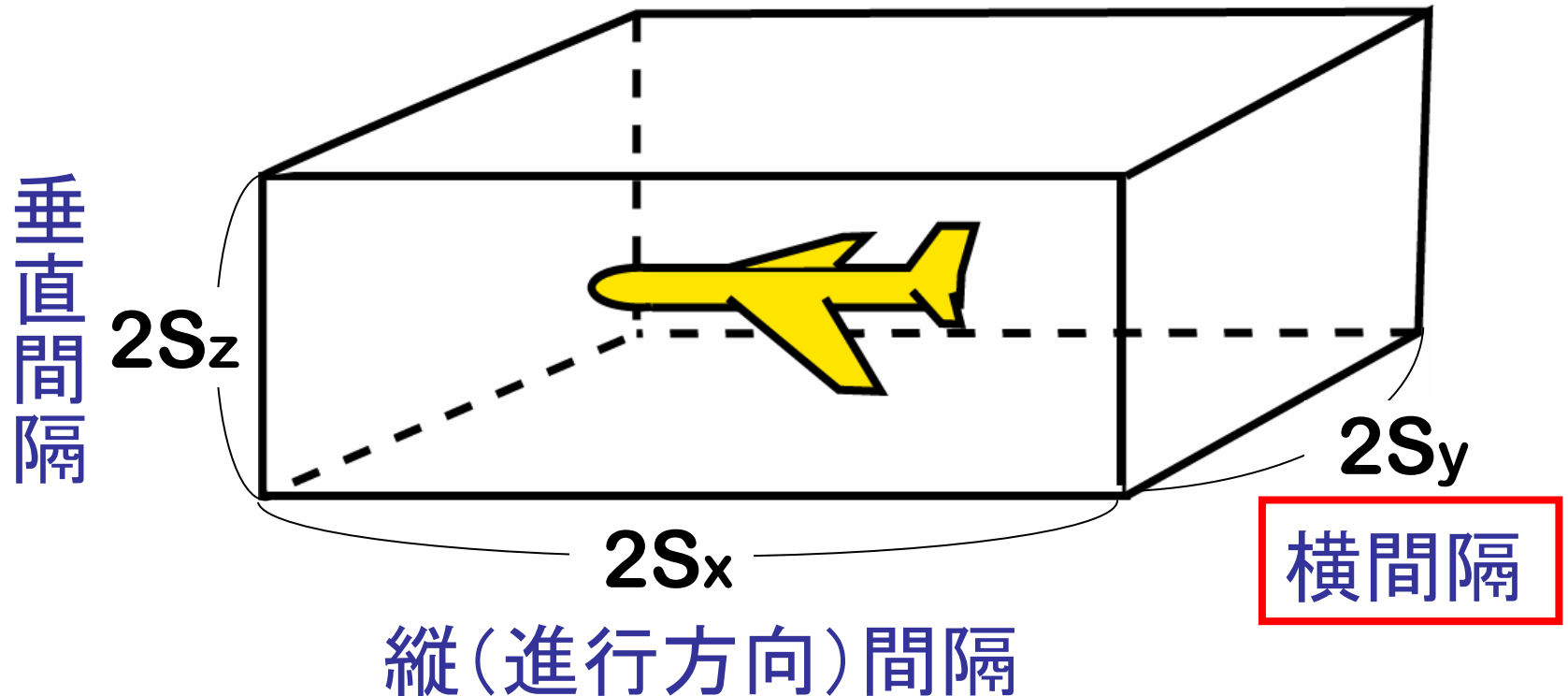
1. 研究の背景(管制間隔基準)
2. 衝突リスクモデル
3. 横方向経路逸脱量
4. 観測対象と使用データ
5. 結果(横方向経路逸脱量の分布)
6. まとめ

研究の背景

管制間隔

安全で効率的な航空機の運航

管制間隔の基準



研究の背景

航空機の運航効率の向上
空域の有効利用

RNAV (Area Navigation: 広域航法)

航空局ではRNAVロードマップを作成
積極的なRNAVの活用を計画

RNAVの定義

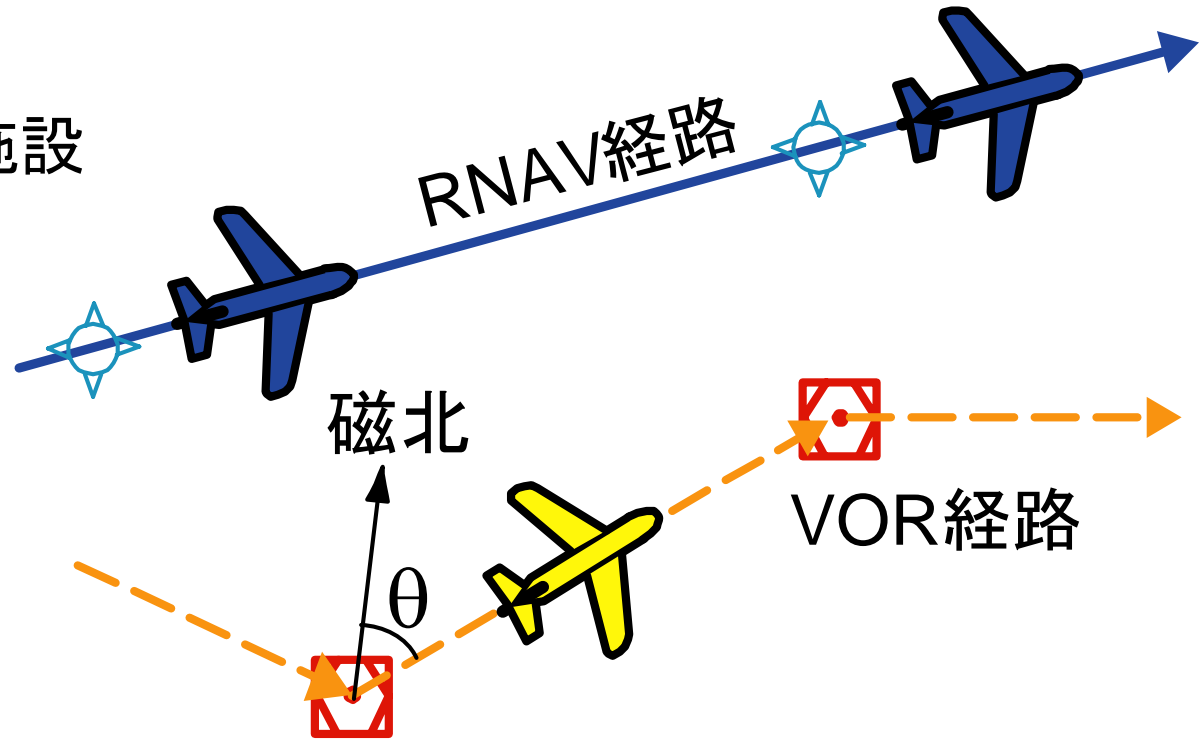
航行援助施設の覆域内、
または自蔵航法装置の能力の限界内、
もしくはこれらの組み合わせにより
任意の希望する飛行経路上での
航空機の運航を可能とさせる
航法の一方法

国際民間航空条約第11付属書

RNAVの概念

 航行援助施設

 Waypoint



複数の機上センサーの情報から位置を算出

航法援助施設的位置に制約されないルート
の設定可能

RNAV運航の推進

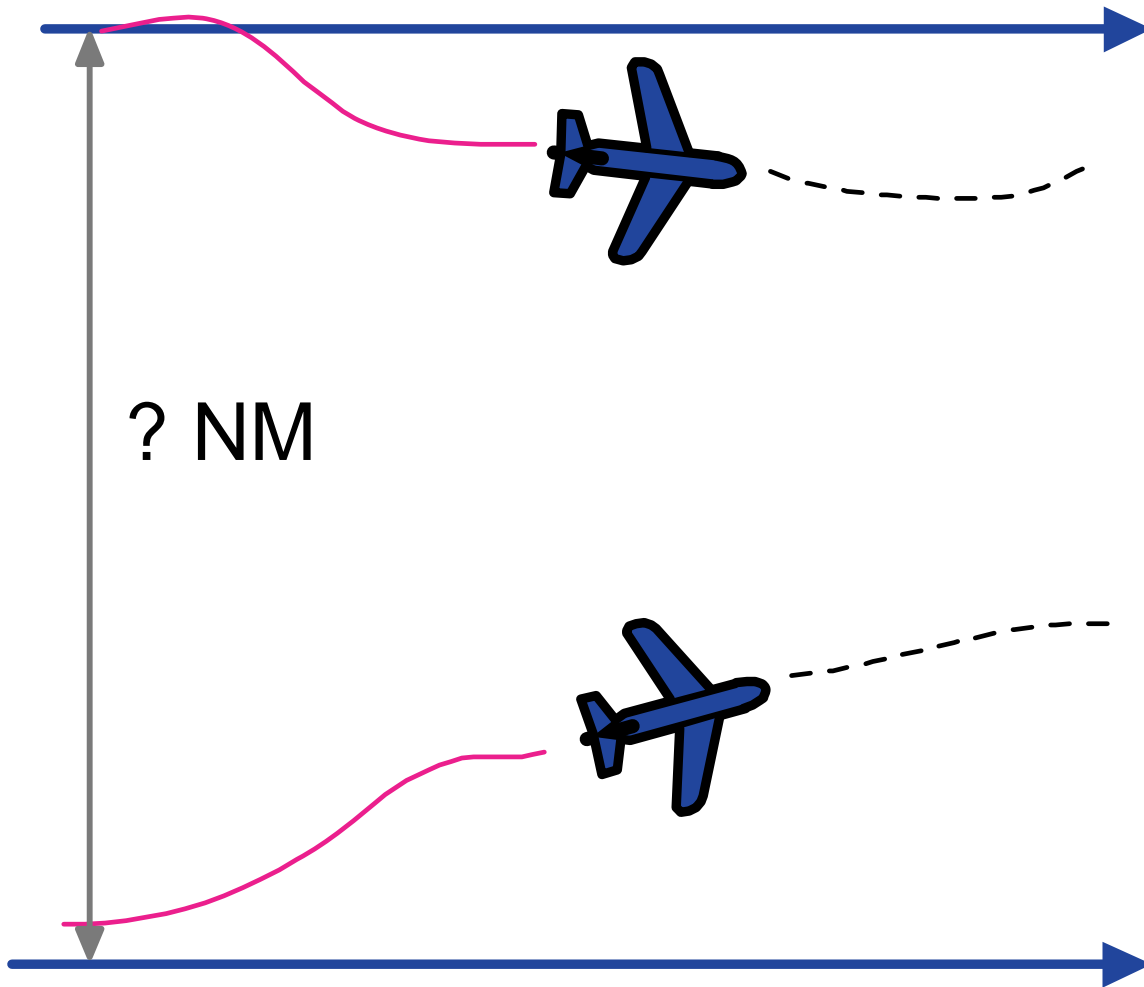
2本の平行滑走路へ進入するためのRNAV到着経路の間隔を安全性を保ちつつ、どこまで近づけられるか？

衝突リスクモデルに基づく衝突リスクで評価

航空機同士が横方向で重なる確率の推定



RNAV機の横方向経路逸脱量の推定



RNAV到着経路の評価運用が行われていた鹿児島空港のデータを利用

鹿児島空港のターミナルレーダー情報処理システム(ARTS)から得られる空港監視レーダー(ASR/SSR)の航跡情報

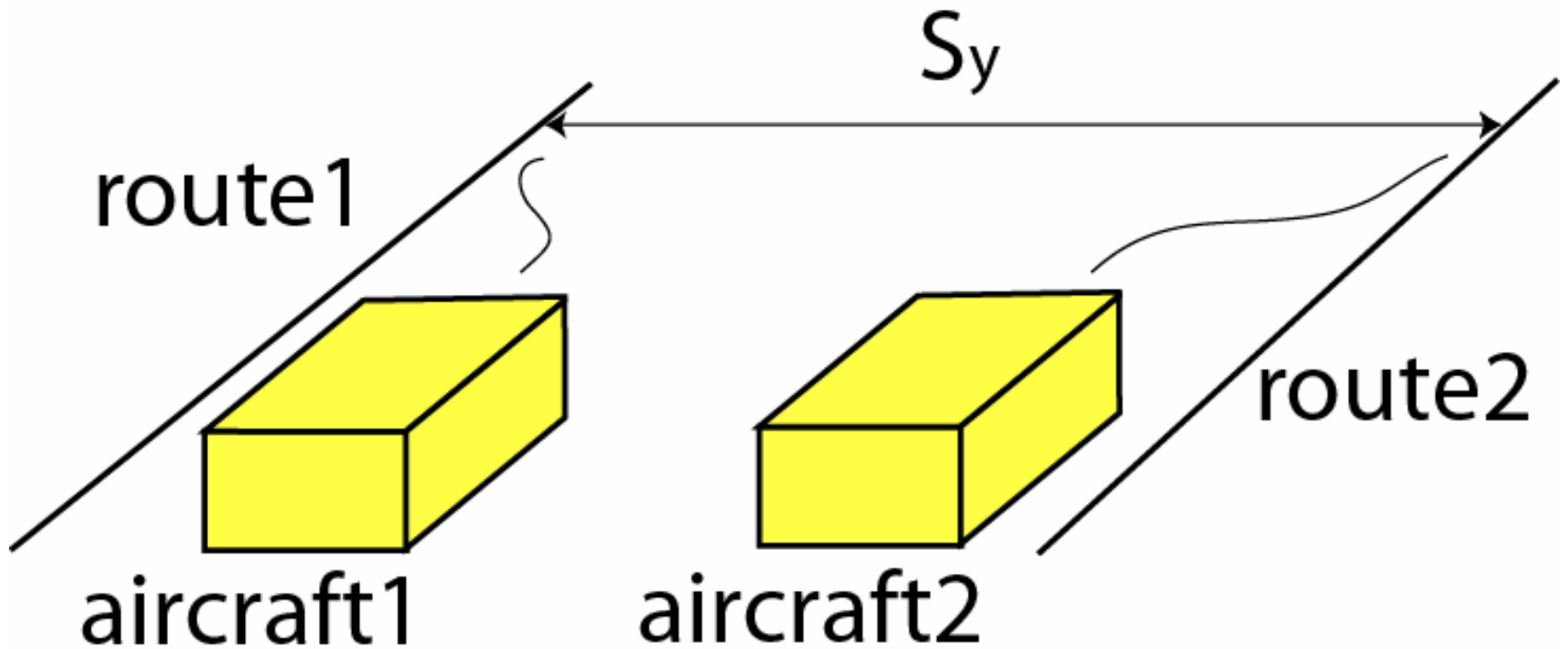
RNAVで飛行した航空機の航跡を解析



横方向経路逸脱量の分布の推定

衝突リスクモデル

衝突リスクモデルの概念



横方向で重なる & 垂直方向で重なる
& 進行方向で重なる



衝突

横方向の衝突リスク

横間隔の喪失により起こる航空機衝突事故件数の
単位飛行時間あたりの期待値（1衝突＝2事故）

$$N_{ay}(o + s) = P_z(0) P_y(S_y) [N_x^y(o)K(o) + N_x^y(s)K(s)]$$

進行方向ですれ違う頻度

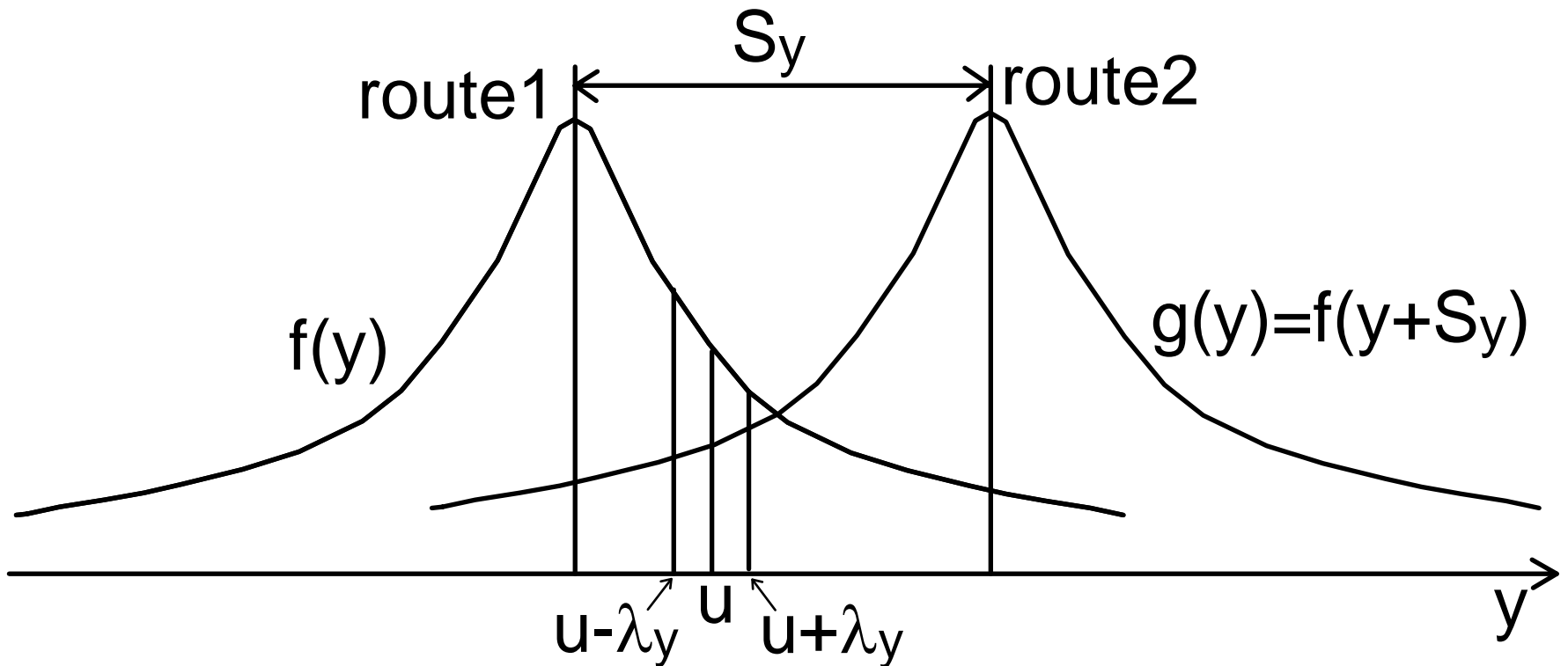
横方向重畳確率

垂直方向重畳確率

横方向重畳確率

$$P_y(S_y) = \int_{S_y - \lambda_y}^{S_y + \lambda_y} \int_{-\infty}^{\infty} f(y)f(y+u)dydu$$

S_y :管制間隔基準、 λ_y :航空機の平均幅

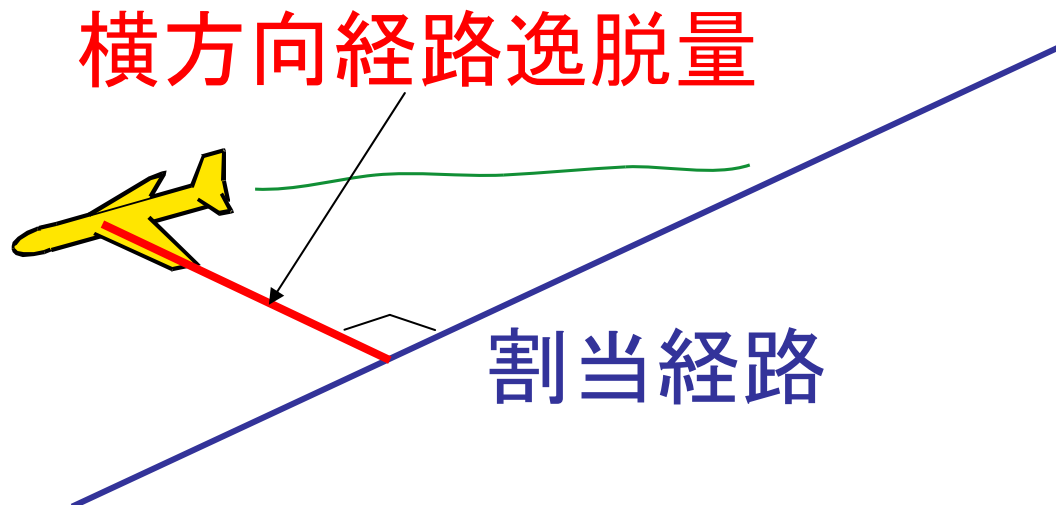


横方向経路逸脱量

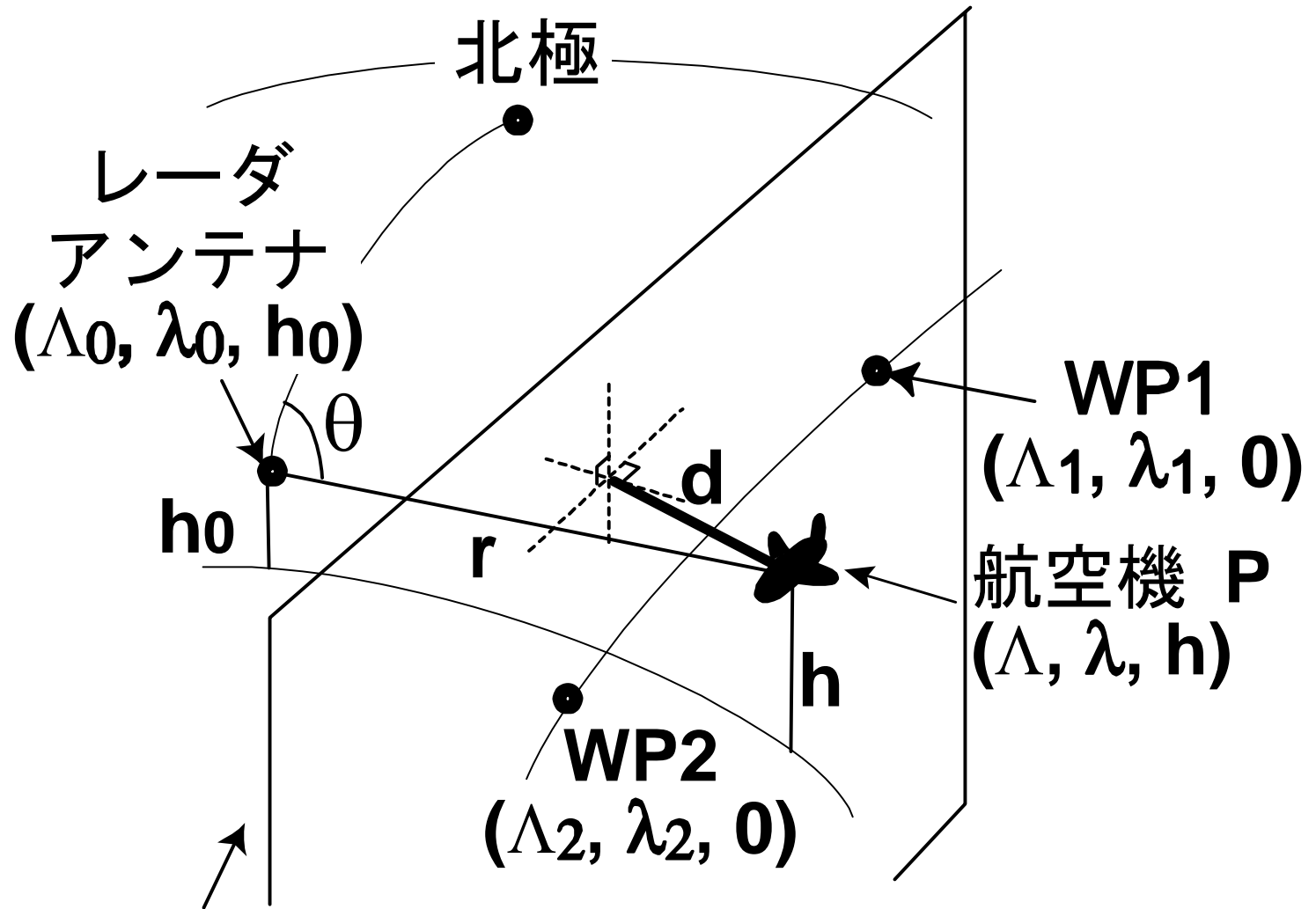
横方向経路逸脱量

割当経路の中心線上を飛行しようとしている
航空機の中心線からの横方向のずれ

航法誤差や計器の故障、人的過誤等が原因



横方向経路逸脱量dの幾何学的関係



FIX1, FIX2と地球の中心を通る平面

計算対象と使用データ

計算対象

鹿児島空港RNAV到着経路をレーダー誘導なしでRNAVで飛行した航空機

RNAV到着経路飛行の可能性は飛行計画情報により判断

RNAV飛行の有無、レーダー誘導の有無等は**運航票**により調査

・レーダー誘導

管制官がレーダー画面を見ながら、安全を保つためや運航効率向上のために航空機に針路等の指示をして誘導すること。

・運航票

管制官が行った管制内容のメモが記載されている紙

使用データ

鹿児島空港ARTSデータ

2005年10月1日～2006年3月15日
(2005年11月16日～12月3日を除く)

データ取得時刻

ASRによる航空機的位置情報(r, θ, h)

コールサイン、機種、識別符号

同期間の飛行計画情報、運航票

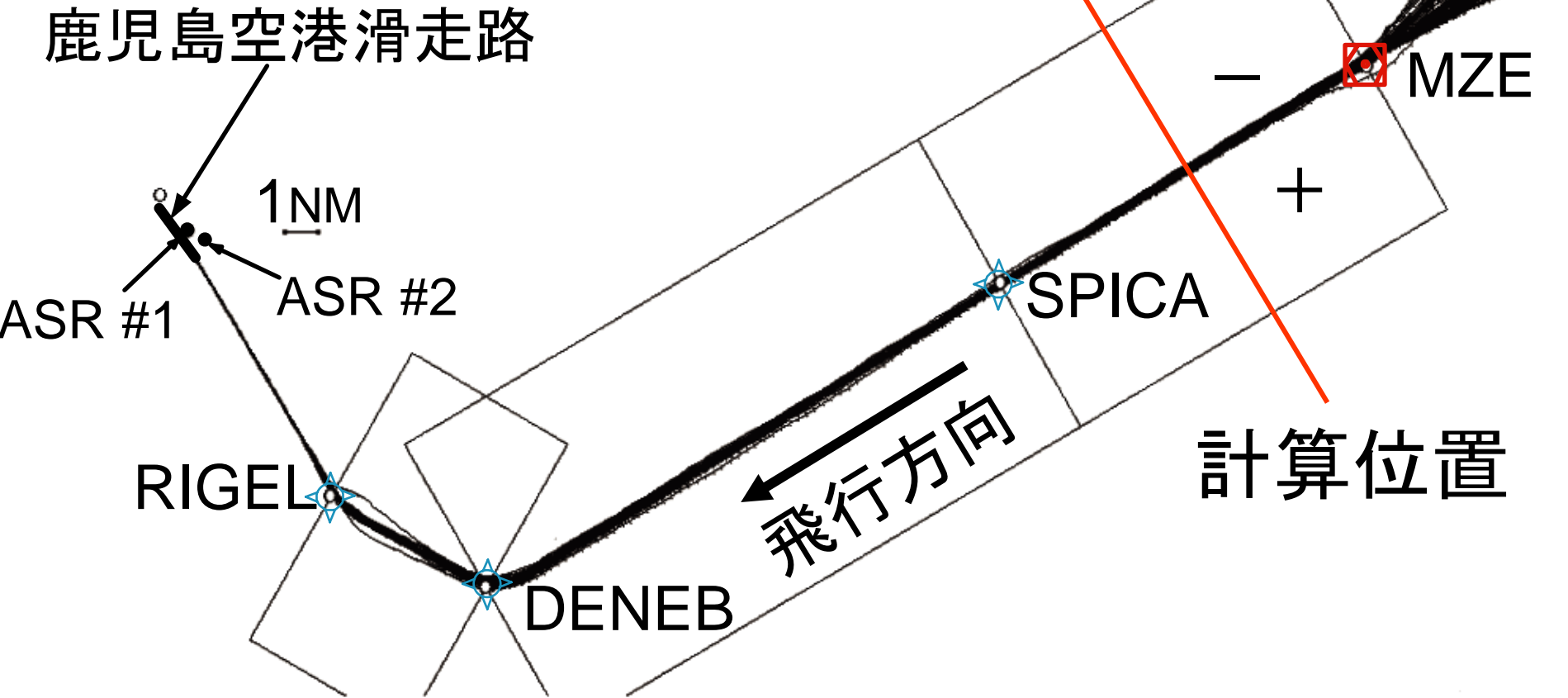
鹿児島島空港ASR のSSRの諸元

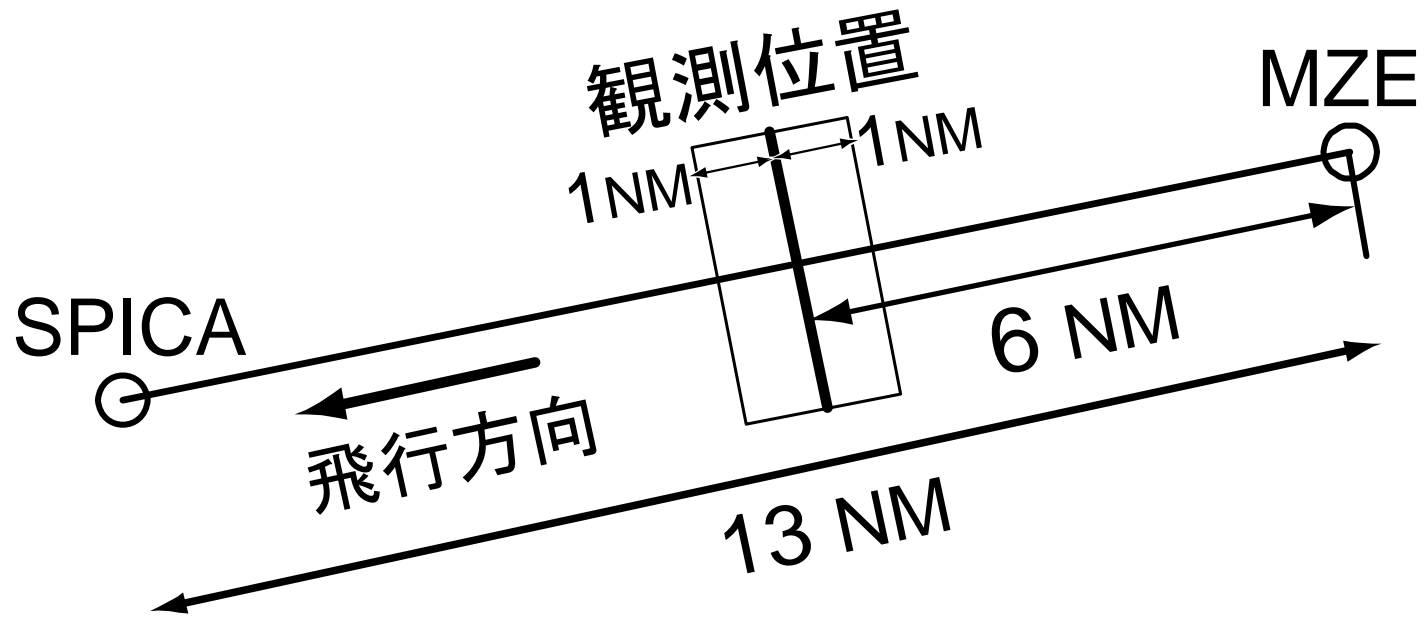
項目	仕様
アンテナタイプ	プレーナアレイ型
アンテナ回転周期	約4秒
最大覆域	60 NM
周波数(送信) (受信)	1030 MHz 1090 MHz
送信先頭出力	1 kW
送信繰り返し周波数	297 pps
最小量子化単位	測距系: 1 / 64 NM 測角系: 0.088°

誤差の要因

- レーダ設置位置の誤差 最大40m程
- レーダの測角、測距系のバイアス誤差
- レーダの測角、測距系のランダム誤差
→ 航跡の平滑化により低減

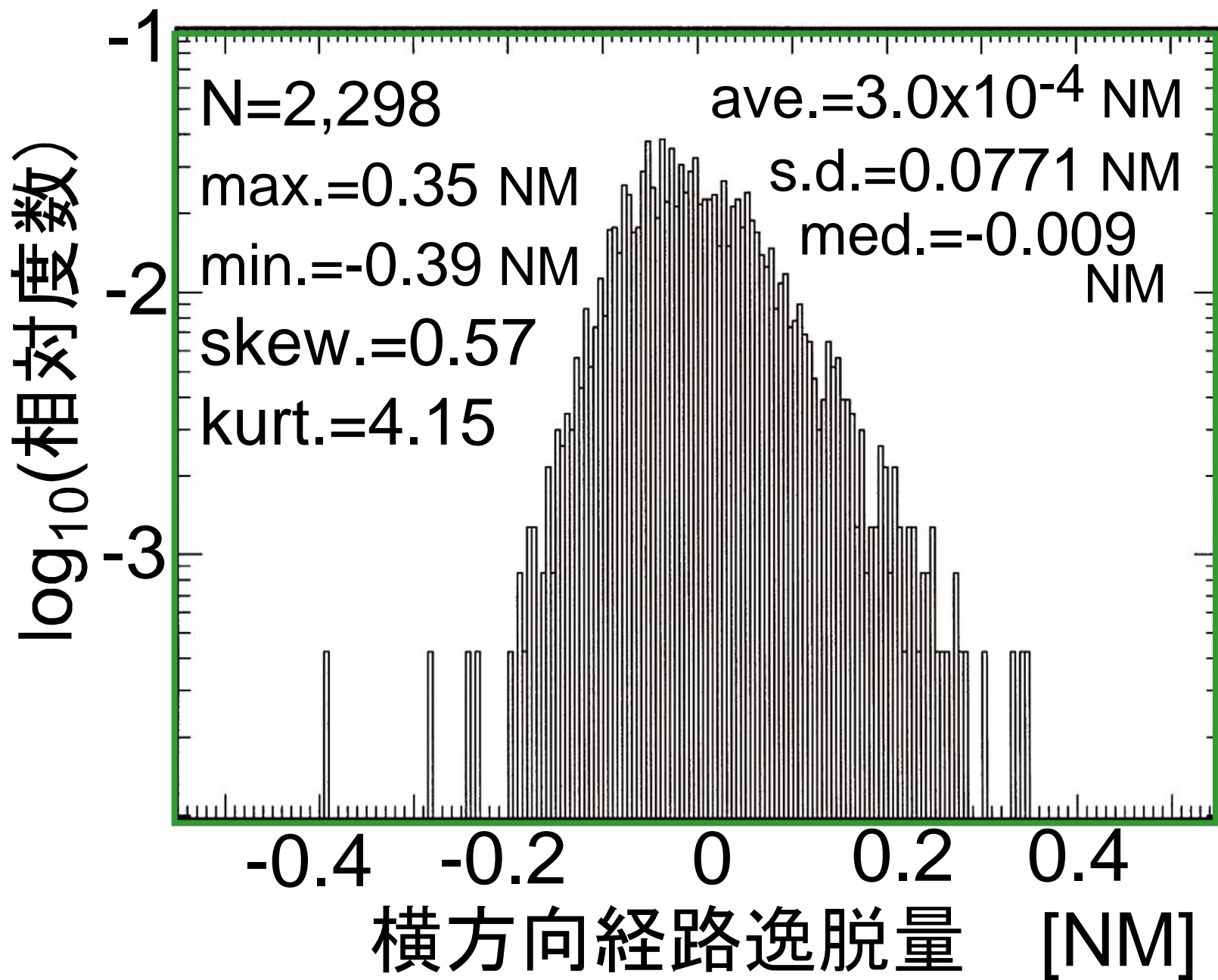
Kihoku RNAV Arrival





1 航跡に1つの横方向経路逸脱量

結果



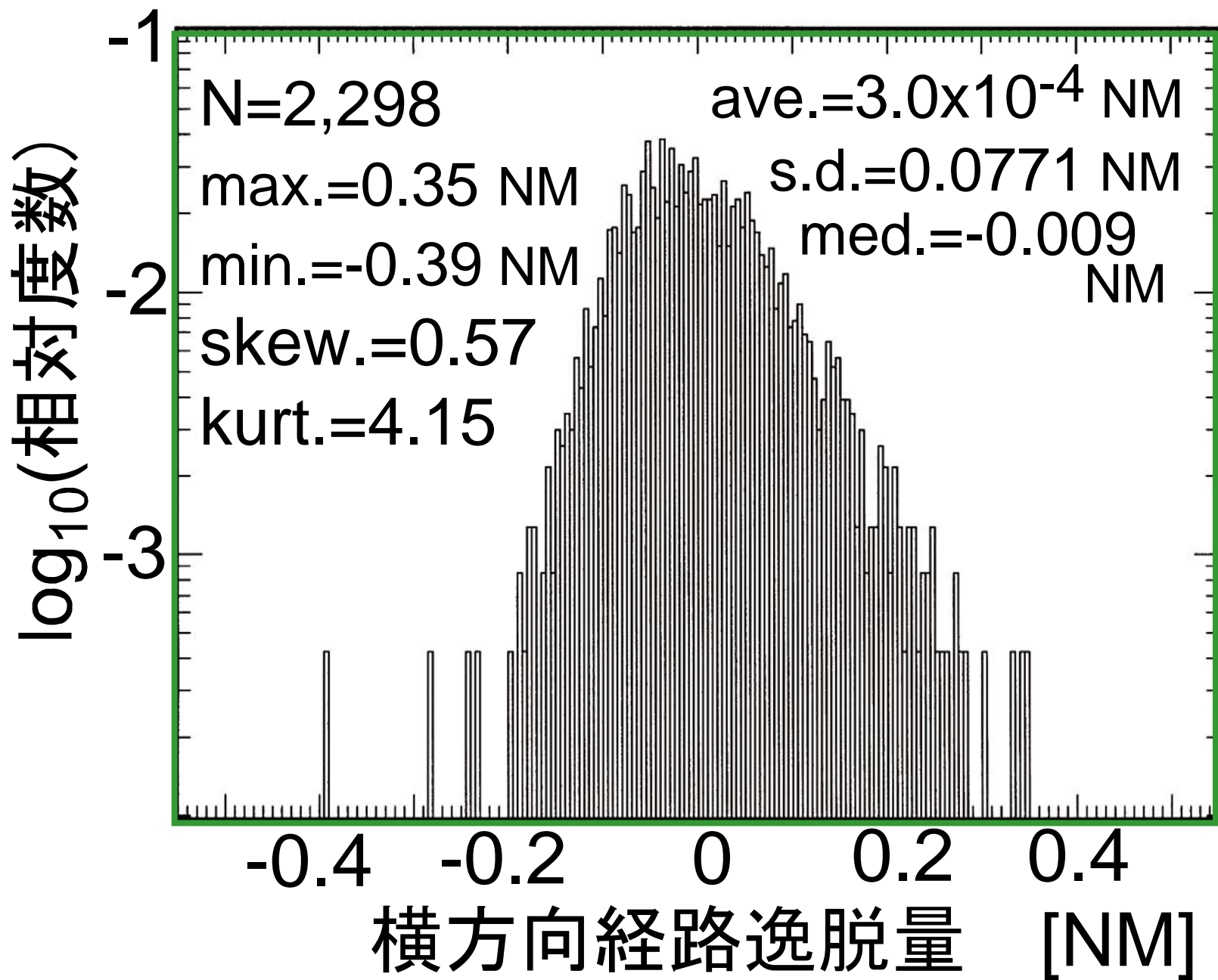
分布の95%含有区間

総飛行時間の95%の時間を
±X NM以内で飛行できる能力



RNAV X

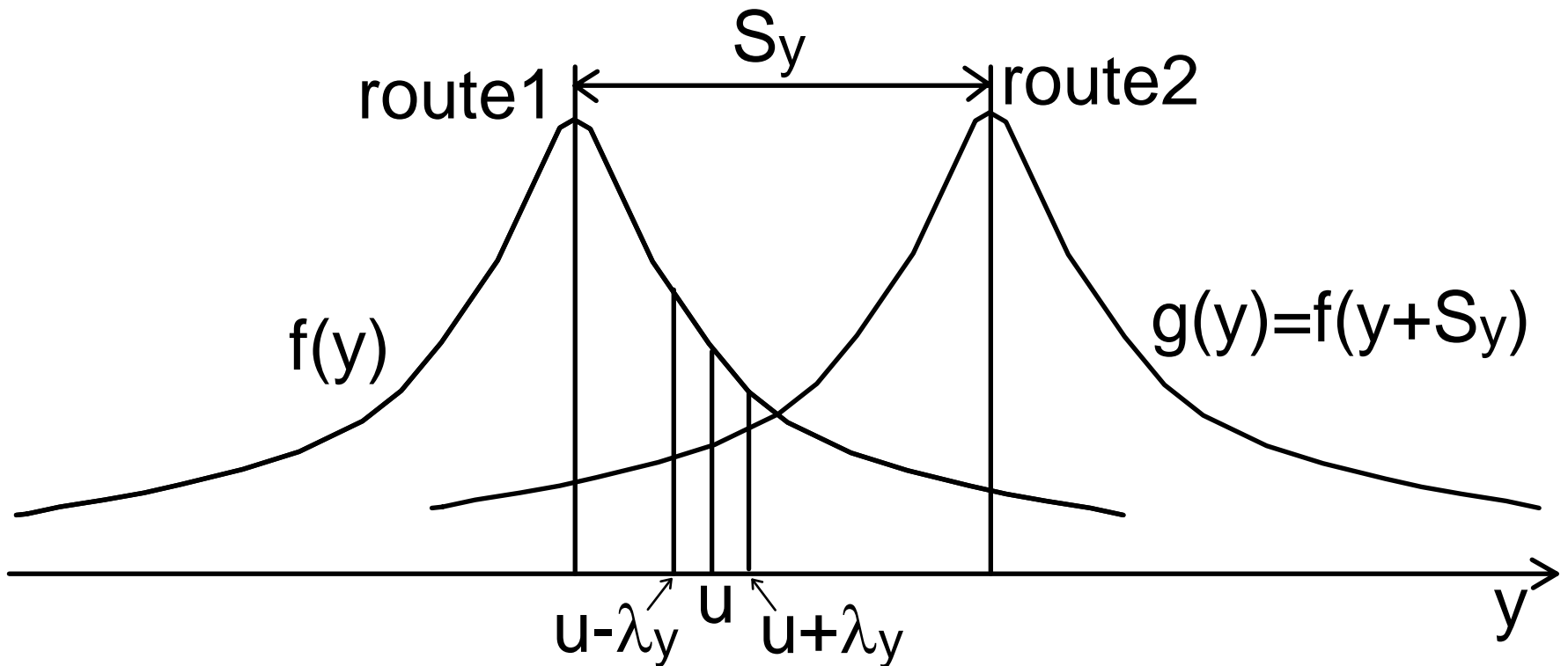
得られた分布のRNAV Xに相当する範囲(分布の95%含有区間)は[-0.13 NM, 0.17 NM]。



横方向重畳確率

$$P_y(S_y) = \int_{S_y - \lambda_y}^{S_y + \lambda_y} \int_{-\infty}^{\infty} f(y)f(y+u)dydu$$

S_y :管制間隔基準、 λ_y :航空機の平均幅

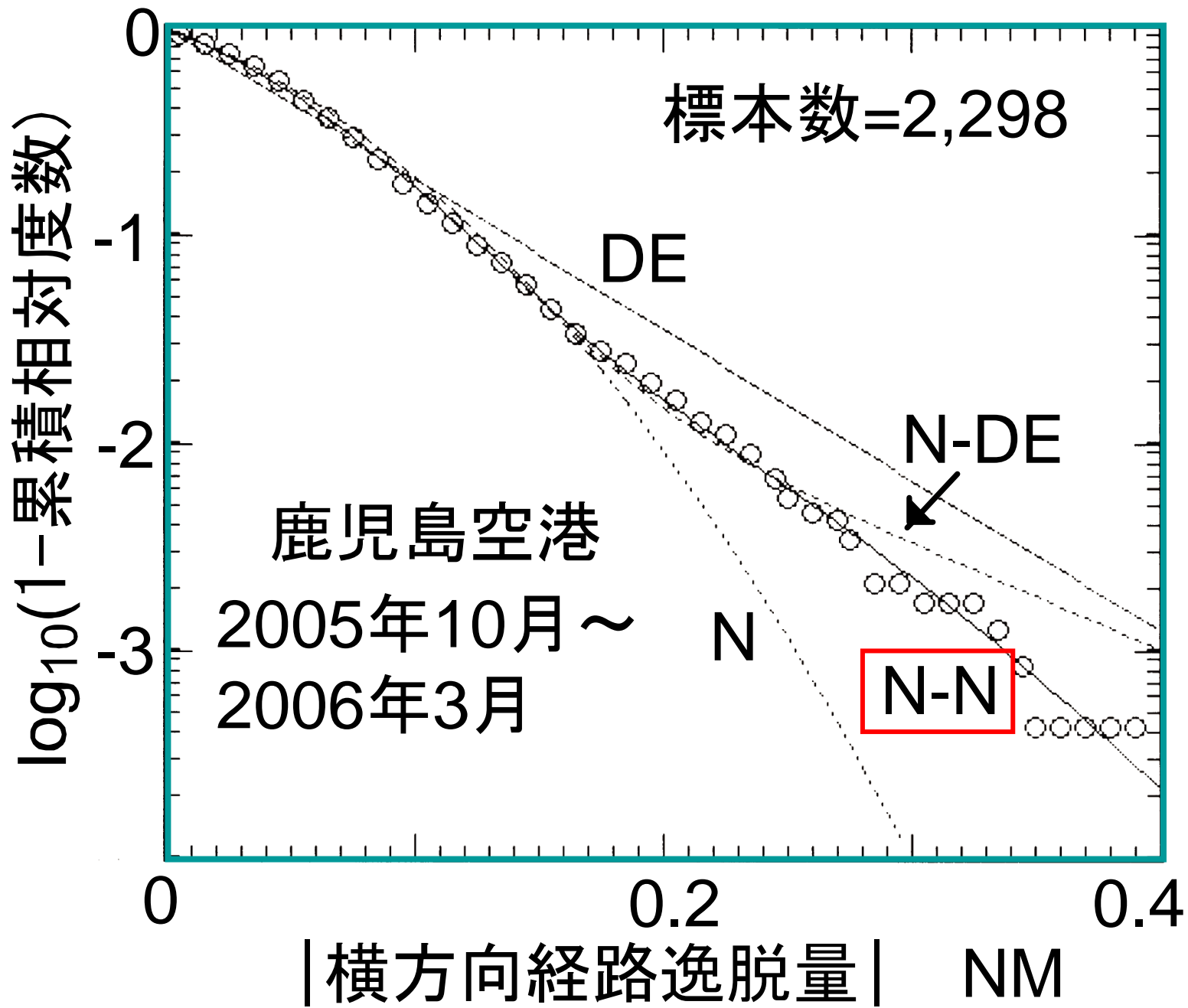


当てはめたモデル

モデル	確率密度関数
N	$\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} \equiv N(y \sigma)$
DE	$\frac{1}{2\lambda} e^{-\frac{ y }{\lambda}} \equiv DE(y \lambda)$
N-N	$(1 - \alpha)N(y \sigma_1) + \alpha N(y \sigma_2)$ $0 < \alpha < 1$
N-DE	$(1 - \alpha)N(y \sigma) + \alpha DE(y \lambda)$ $0 < \alpha < 1$

モデルの当てはめ結果

モデル	パラメータの最尤推定値	AIC
N	$\sigma=0.0771$ NM	-5257 (56)
DE	$\lambda=0.0602$ NM	-5134 (179)
N-N	$\alpha=0.117$ $\sigma_1=0.0673$ NM $\sigma_2=0.129$ NM	-5313 (0)
N-DE	$\alpha=0.121$ $\sigma=0.0705$ NM $\lambda=0.0840$ NM	-5304 (9)



まとめ

鹿児島空港ARTS(ターミナルレーダー情報処理システム)の情報、飛行計画情報、運航票にて、RNAV機の横方向経路逸脱量の分布を推定



- ・148日分のデータを用いて標本数2,298
- ・分布の標準偏差は0.077 NM
- ・95%含有区間は[-0.13 NM, 0.17 NM]
- ・実測分布はN-N分布で良く近似できる。

今後の課題

- 2つのレーダーサイトの差異の確認
- 異なる観測地点における分布の推定

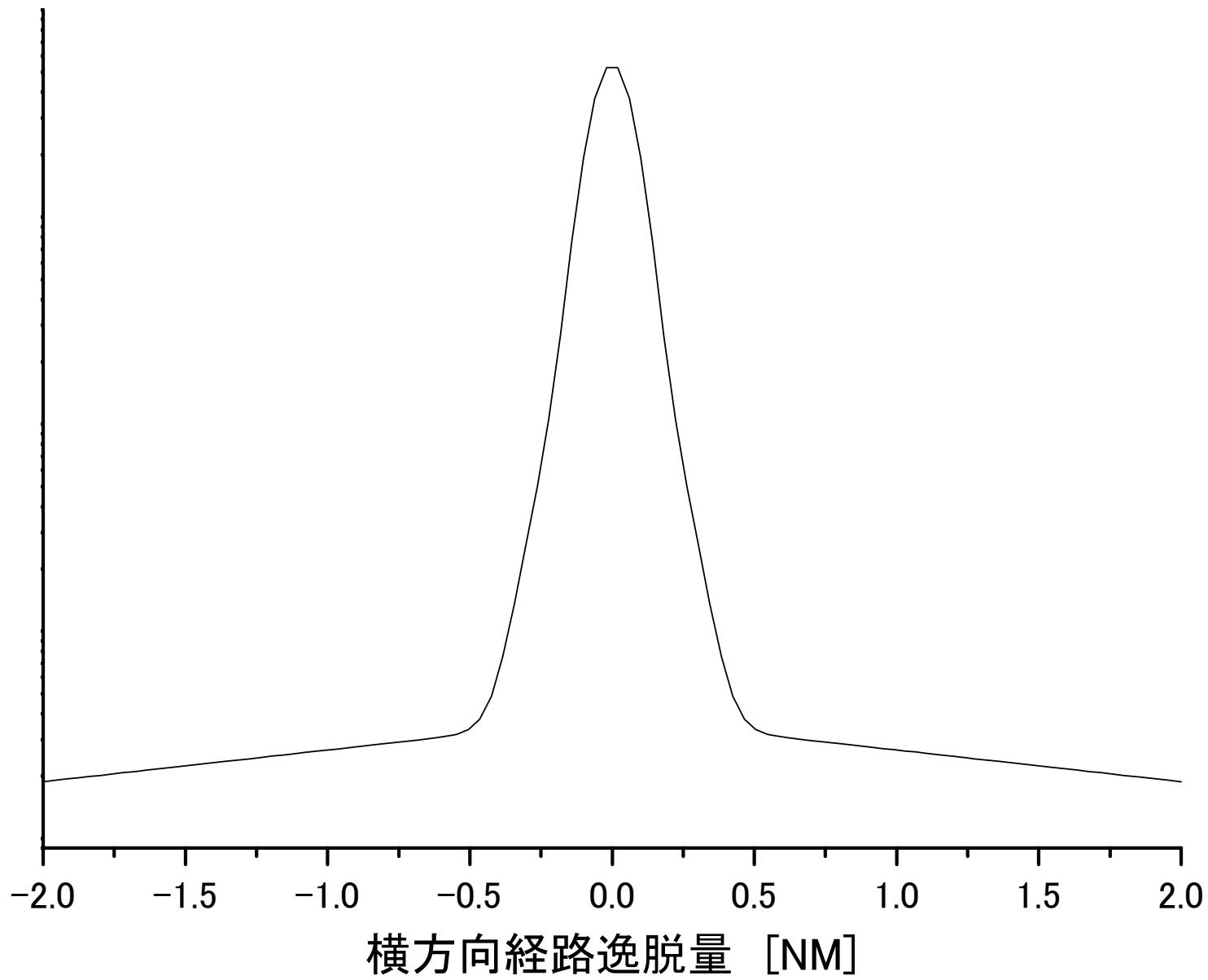
今回得られた横方向経路逸脱量の分布

標本数 2,298便

次のように考える。

- ・逸脱は全て通常の航法誤差による。
- ・衝突の原因となる大きな逸脱は非観測。

観測分布は本当の分布の中心部分のみ
裾部の分布の推定方法を考案



分布は次式で与えられるとする。

$$f(x) = (1 - \alpha)f_c(x; \alpha_c, \sigma_1, \sigma_2) + \alpha f_e(x; \lambda)$$

但し、

$$\begin{aligned} f_c(x; \alpha_c, \sigma_1, \sigma_2) &= (1 - \alpha_c)f_n(x; \sigma_1) + \alpha_c f_n(x; \sigma_2) \\ &= (1 - \alpha_c) \frac{\exp(-x^2 / 2\sigma_1^2)}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} + \alpha_c \frac{\exp(-x^2 / 2\sigma_2^2)}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} \end{aligned}$$

$$f_e(x; \lambda) = \frac{\exp(-|x|/\lambda)}{2\lambda}$$

機種	便数(割合)
B767-300	604 (26.3%)
B777-200	384 (16.7%)
A300-600	326 (14.2%)
MD90	311 (13.5%)
B737-500	285 (12.4%)
A320	281 (12.2%)
B777-300	63 (2.7%)
B737-400	18 (0.8%)
B737-700	10 (0.4%)
A320-100	9 (0.4%)
B767-200	5 (0.2%)
other	2 (0.1 %)
Total	2,298 便