



ターミナル空域での 衝突危険度推定ソフトウェア

航空交通管理領域

藤田 雅人



内容

1. 導入
2. Rice衝突危険度モデル
3. 平均衝突危険度モデル
4. Riceソフトウェア
5. 検証
6. まとめ



安全管理・衝突危険度モデル・使用上の注意

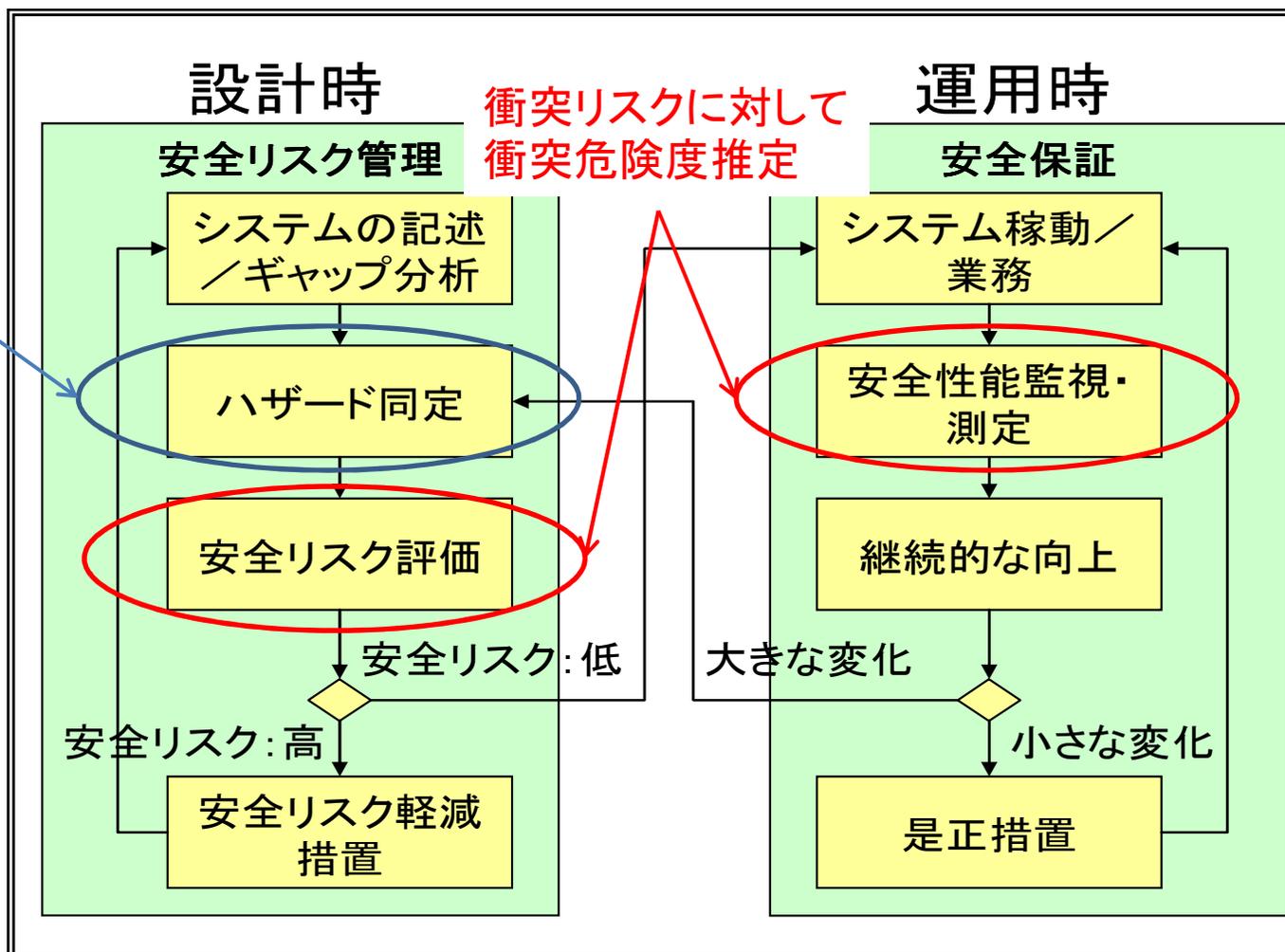
導入



安全管理

危険因子の洗い出し

- ヒヤリ・ハットデータ解析
- 構造化ミーティング





衝突危険度モデル

- ICAO SASP (Separation and Airspace Safety Panel)等で開催・利用
- RMA (Regional Monitoring Agency)やEMA(En-route Monitoring Agency)などで利用
- 主に衝突件数の期待値(ないし、事故件数の期待値)を計算する数理モデル
 - 1飛行時間あたりの衝突件数の期待値(ないし、事故件数の期待値)
 - 一定期間あたりの衝突件数の期待値(ないし、事故件数の期待値)

RMA, EMA・・・ PBN (Performance-based Navigation)運航・RVSM (Reduced Vertical Separation Minimum)運航の安全性を監視する監視機関であり、定期的に衝突危険度を算出



モデル化

- 衝突危険度は影響の少ないと思われる成分を無視し、ある想定の下での（長期的に見た）衝突回数の予測
- 「どこまで想定すればいいのか？」: 実現性・コスト versus 精度
 - トランスサイエンス＝科学の言葉で定式化できるが、科学だけでは事実上答えられない問題 (Weinberg A. M. (1972). Science and Trans-Science, *Minerva* **10**, 209-222.)



衝突危険度モデルは使用上の注意をよく守ってお使いください。

1. 衝突危険度推定値はあくまで目安として解釈してください。
2. 本製品はハザード(危険因子)同定作業に代わるものではありません。





航空機ペアの汎用衝突危険度モデル

RICE衝突危険度モデル



主要衝突危険度モデル一覧

CRM	時間変化する誤差を扱える。	多数の航空機の平均リスクの計算	直線飛行以外も扱える。
Reich (1966)	No	Yes	No
Hsu (1981,1997)	Yes	No (Hsu) Yes (Anderson et al.)	No
Rice (2003)	Yes	No	Yes
Proposed	Yes	Yes	Yes



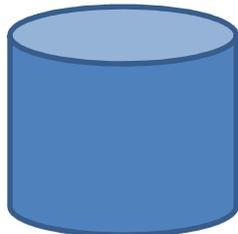
Rice衝突危険度モデルのコンセプト



複雑な形状



形状の簡略化



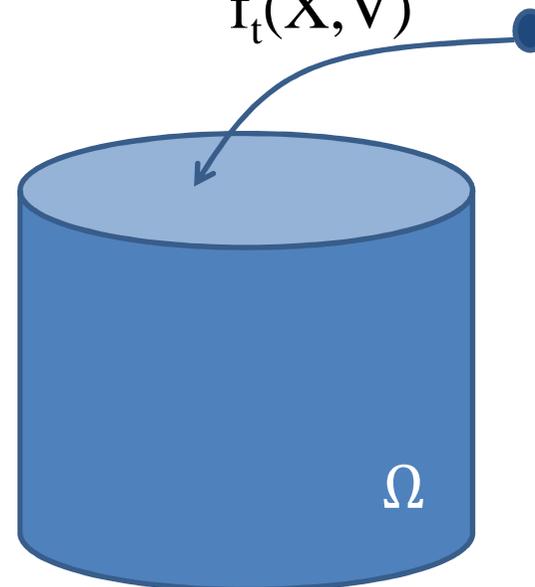
単純な形状



- 相対運動
- 簡易な幾何学

時刻 t での相対位置と
相対速度の確率分布

$$f_t(X, V)$$



大きさを持たない点と
Collision volumeと呼ば
れる物体との衝突



Rice衝突危険度モデル

$$\Pr\{\text{collision during } [t_0, t_1]\} = \int_{t_0}^{t_1} \Psi(u) du$$

$$\Psi(u) = \iint_{\partial\Omega} \iiint_{\mathbb{R}^3} f_t(X, V) (\vec{n} \cdot \vec{V})^+ dV dX$$

航空機ペアし
か考えない

Risk exposure function (危険曝露率関数)

$f_t(X, V)$ を求めること: **モデル化**の問題

$\Pr\{\text{collision during } [t_0, t_1]\}$ を計算すること: **数値計算(計算量)**の問題

真のトラジェクトリ = 名目トラジェクトリ + 誤差

管制官などが「そこにいる」と思っている位置・速度



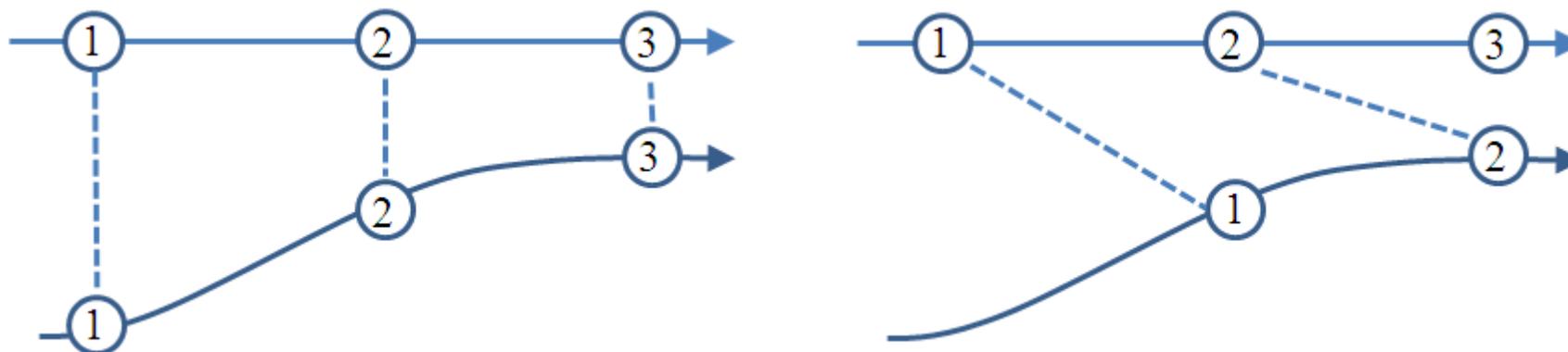
Rice衝突危険度モデルの変形

平均衝突危険度



独立運用

矢印: 交通流
 破線: 名目上の管制間隔
 ○: ある時刻の航空機の名目位置

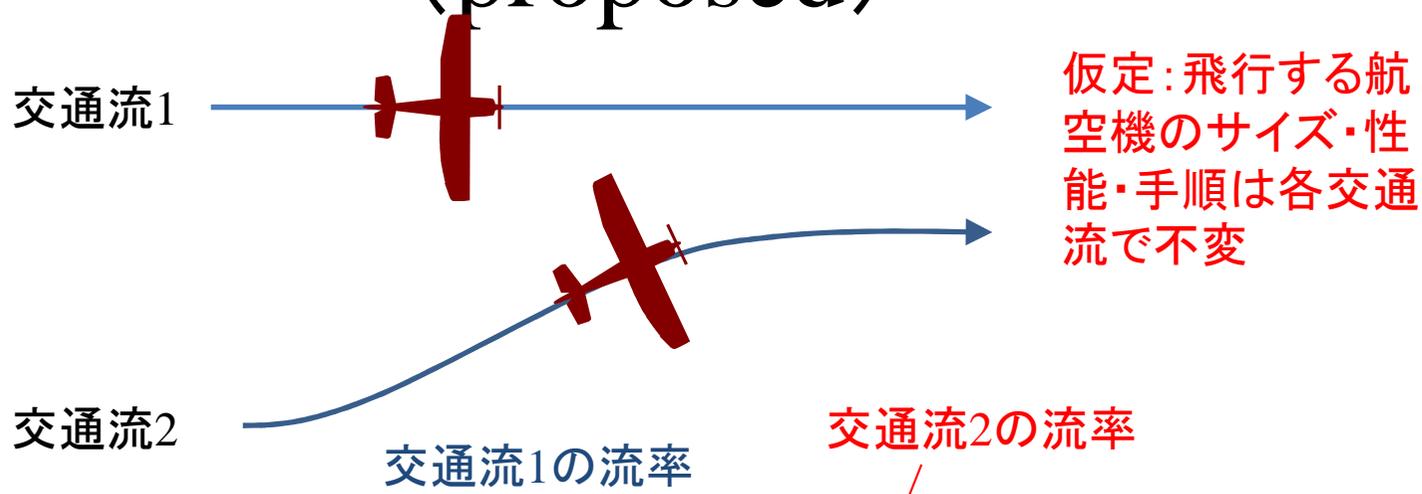


- 直感的に、左図のケースが高い衝突危険度
- 左図と右図の状態が起こる確率は同一と考えられる

Rice衝突危険度モデルを独立運用環境下でも使えるように拡張する。



衝突危険度モデル (proposed)



仮定: 飛行する航空機のサイズ・性能・手順は各交通流で不変

1時間あたりの衝突件数の期待値

$$n_1 n_2 \int_0^T \int_0^T \Psi(s, t) dt ds$$

$$\Psi(s, t) = \iint_{\partial\Omega} \iiint_{\mathbb{R}^3} f(s, t, X, V) (\vec{n} \cdot \vec{V})^+ dV dX$$

交通流1の航空機の位置と速度の確率密度関数

$$f(s, t, X, V) = \int_{\mathbb{R}^3} \int_{\mathbb{R}^3} f_1(s, X + \zeta, V + \eta) f_2(t, \zeta, \eta) d\zeta d\eta$$

交通流2の航空機の位置と速度の確率密度関数



モデルのソフトウェア化

RICEソフトウェア

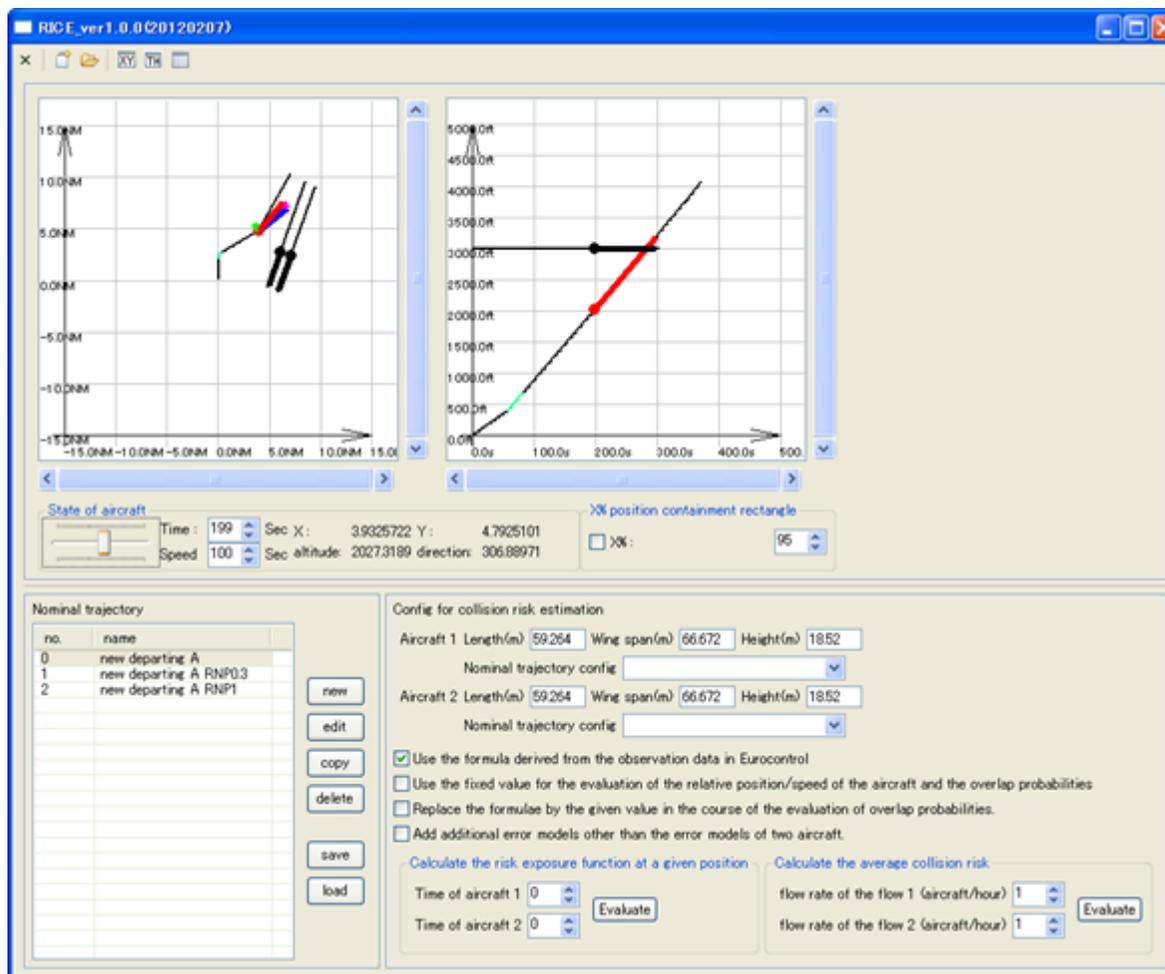


ソフトウェア化の動機・実現性

- (新方式導入前などに)色々条件を変えて計算を行う必要性。
- 誤差が(衝突危険度モデルでよく使う)正規分布や両側指数分布ないしその混合分布に従うとする限り、画一的な公式を用いれば、(幾分)計算量の削減が可能。



ソフトウェア試作品



航空機のトラジェクトリ 定義

速度(IAS,TAS,GS)・上
昇率・旋回角・風向・風
速を入力する。

誤差分布

風速・ヘディング・航法
精度に関する簡易な誤
差モデル



独立部隊によるソフトウェアの実装

ソフトウェアの検証



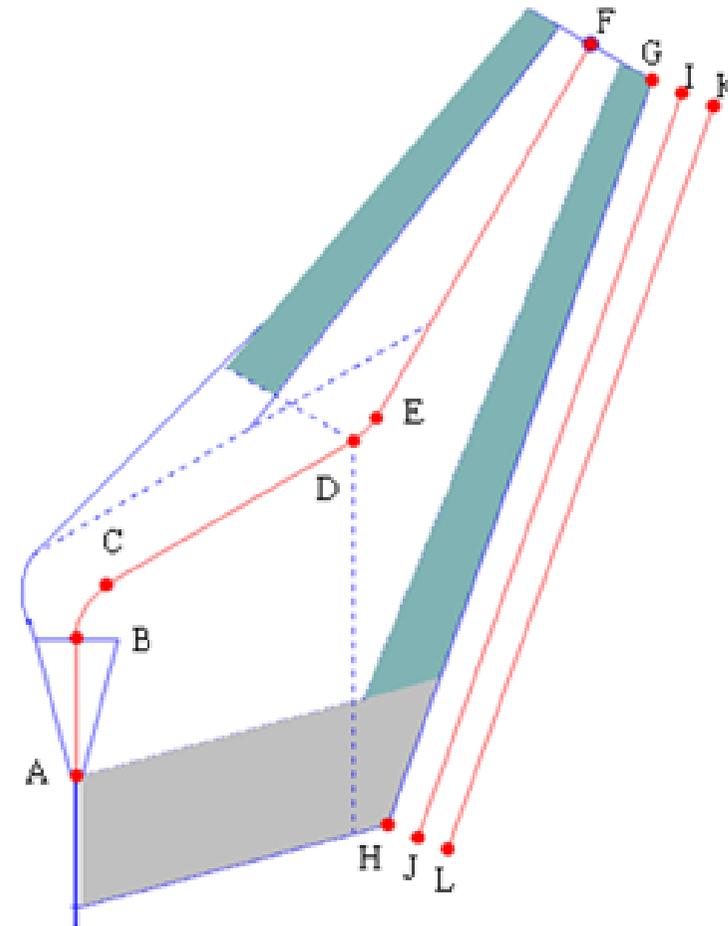
検証方法

- 衝突危険度モデル実装に関する問題点
 - 直感的に正しい答えが分からない。
 - 式が正しくとも、ソフトウェア実装時にミスを組み込む可能性がある。
- 小さなステップ毎での頻繁なテスト
- 異なるプログラマによる2つの実装の比較



衝突危険度推定対象シナリオ

- VOR機とRNP機の衝突危険度推定シナリオ
- M. Fujita, “Average collision risk for OR 26”, ICAO SASP/WG/WHL/17-WP/18, Montreal, 10-21 May, 2010. と比較





計算結果

Category	Cat. A	Cat. A	Cat. C	Cat. C
RNP-type	RNP 0.3	RNP 1	RNP 0.3	RNP 1
衝突危険度 (参照結果)	6.28×10^{-9}	8.18×10^{-10}	1.96×10^{-6}	2.27×10^{-7}
衝突危険度 (RICE)	6.50×10^{-9}	9.38×10^{-10}	9.08×10^{-7}	6.98×10^{-8}

- RICEソフトウェアでは、参照文献より複雑な運動モデルを採用しており、同一の計算結果を望むことは出来ない。
(RICEソフトウェアでは旋回半径に関してより現実的な仮定が採用されている。)
- RICEソフトウェアの計算結果と参照文献の結果は概ね大きな乖離がない。
- 他のシナリオでのRICEソフトウェア以外の計算結果との比較も必要



まとめ



まとめ(1)

- 衝突危険度使用上の注意
- Riceモデルの紹介
- 独立に運用される方式が作る2つの交通流の平均衝突危険度が計算できるようにRiceモデルを変形
- ソフトウェアとして実装
 - ソフトウェアの妥当性検証: 過去に衝突危険度推定を実施したシナリオで, 新たに当該ソフトウェアを用いて, 衝突危険度推定. 両者の計算値が大きく異なるない.
 - 計算時間がかかる(数分~数日)



まとめ(2)

- 当該ソフトウェアを実運用に耐えるものとするために。
 - 計算の更なる高速化や運動モデル・誤差モデルの追加
 - 他のシナリオでの計算結果の検証



ご清聴ありがとうございました