

四次元データの航空管制での利用へ

Toward Using 4 Dimensional Data in Air Traffic Management

溝口徹夫

Tetsuo Mizoguchi

computer@mizoguchi-tetsuo.com

要約

本資料では、四次元データ(国土交通省公開データ)を利用し、羽田空港を例として、航空管制での安全維持のための、飛行間隔の分析結果と予測方法を示す。飛行間隔に時間間隔を採用し、ターミナル領域での先行/後続到着フライト間の時間間隔の特性とその変動要因を分析し、その結果から飛行間隔の予測、飛行時間の予測について概略の方法を示す。但し、実装は行っていない。

1. はじめに

四次元データは、(時間+三次元空間)データ、つまり四次元のデータを指す。四次元データは多くの物理的な分野での例があり、航空管制もその一つである。航空管制では、安全の維持が重要な目的である。安全の維持のために、フライト間の最小飛行間隔が設定され、その準拠の監視が行われている。

本資料の目指す目標は、到着フライト間の時間間隔を取り上げ、ターミナル領域(滑走路到着前)での飛行間隔・飛行距離を分析し、その結果を用いて飛行間隔の予測、ないしは飛行時間をできるだけ正確に予測する方法を検討、示唆することである。

以下の内容は、2015年に国土交通省が一般公開したCARATS Open Dataの2012/11/07の正午から午後06:00に羽田空港34L滑走路に到着した137フライトデータに基づいている。

第2章では、到着フライトの飛行時間・飛行距離、到着フライト間の時間間隔分析の結果を示し、第3章では、その結果に基づき、時間間隔の予測、飛行時間と飛行距離の予測の概略を示す。

2. ターミナル領域での到着フライト間の時間間隔

フライトについて本資料で取り扱うデータ種別を次の二種類に分ける。

(1) 各フライトのデータ種別 2.1 節参照

他のフライト(特に先行フライト)の影響を受けた、各フライトの飛行特性を各フライト独自のデータで閉じて分析する。

(2) フライト相互間のデータ種別 2.2 節参照

特定の先行/後続フライト間での、特定の条件(例えば、後続フライトの領域進入時間間隔)

の下での、時間間隔を分析する。

2.1 ターミナル領域での各到着フライトの飛行距離、飛行時間

137 フライトデータを、最終合流点西方 300Km 以降、二次元飛行軌跡データの Z 軸の高度以外の X, Y の二次元平面データで表わす。

各フライトのデータ種別を以下に列挙する。

- 各フライトの各時点から最終合流点までの飛行距離
- 各フライトの各時点から最終合流点までの飛行時間
- 上記飛行時間（合流点を原点）と飛行距離（合流点を原点）の時刻変化相関。これを本資料では各フライトの TD (Time Distance) 特性と呼ぶ。

注 先行/後続フライト間の飛行位置の間隔距離と、各フライトで閉じた、飛行位置から最終合流点までの飛行距離の違いに注意。

- 飛行距離と飛行速度の相関（飛行速度は飛行距離の飛行時間微分）

TD 特性は、飛行軌跡の二次元水平平面表現を一次元の飛行距離表現に変換し、飛行時間と飛行距離を合わせた二次元表示を与える。

2.2 距離間隔と時間間隔、及び時間間隔算出補正

到着フライトの飛行間隔には、二つの指標、距離間隔 (DBS: Distance Based Separation) と時間間隔 (TBS: Time Based Separation) がある。

DBS は、ある瞬間に飛行中の先行と後続の 2 到着フライト間の距離を以って表現する。TBS には以下の二つがある。

(1) ある位置を先行フライトが飛行している時刻からどれだけの時間後に、後続フライトがその位置を通過したかの時間差

(2) 現在(現時刻に)後続フライトが飛行している位置を、先行フライトがどれだけ以前の時刻に通過したかの時間差

後者の時間間隔は時々刻々、即座に与えられ、リアルタイム性上有利である。本資料では(2)を採用する。

TBS では DBS と違い、同一飛行位置の先行/後続の飛行する時刻に差があるため、飛行時間差算出には、周期データ収集間での補間補正を行った。

2.3 ターミナル領域での到着フライト間の距離間隔

距離間隔 (DBS) を示すデータ種別は、最終合流点を先行フライトが通過するまでの、後続フライトとの水平(二次元)距離間隔の時間経緯である。合流点では、最小の距離間隔は 5000m

以上であり、最小規定とされる 3NM 以上であることがわかった。

2.4 ターミナル領域での到着フライト間の時間間隔

時間間隔(TBS)に関して、以下の指標を示す。

- 最終合流点を先行フライトと後続フライトが通過するまでの時間間隔の時間変化
- 最終合流点を先行フライトと後続フライトが通過するまでの時間間隔の変動幅

図 1 に、136 フライト対の、先行フライトが合流点に達するまでの、時間間隔の時間推移を示す。

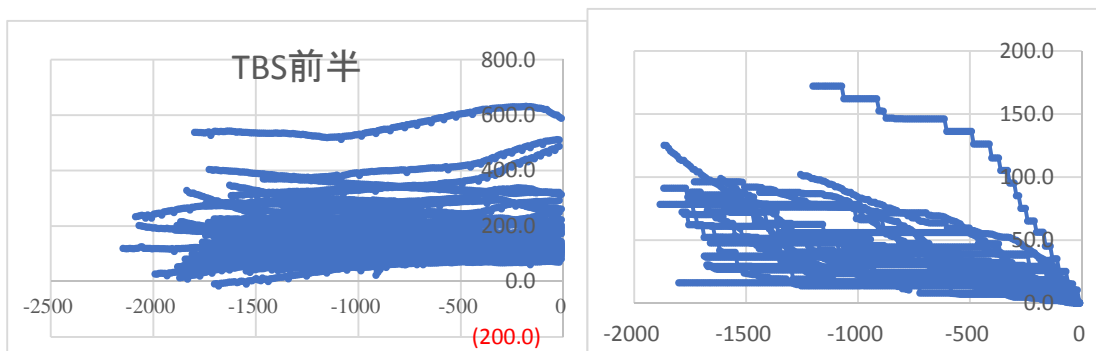


図 1 時間間隔の時間経緯(前半)と時間間隔変動幅(1-35)

時間間隔は比較的安定しているが、どの程度安定しているかを示すために、合流点までの時間間隔の変動幅を最大時間間隔と最小時間間隔の差で示した。多くは、合流点に到着する約 1400 秒間に、最大約 50 秒の変動幅である。間隔上では正常に運航されたもので、問題を生じているわけではない。

時間間隔に比べ、距離間隔の変化の推移から、たとえば、合流点までの間隔の推移を予測することは困難と言え、時間間隔では、合流点までの間隔の推移を予測することがより容易と言えよう。

時間間隔が安定している事例を用いて、安定化する要因の分析を行う。事例とする先行/後続フライトの飛行軌跡、TD 特性、飛行速度変化を図 2 に示す。

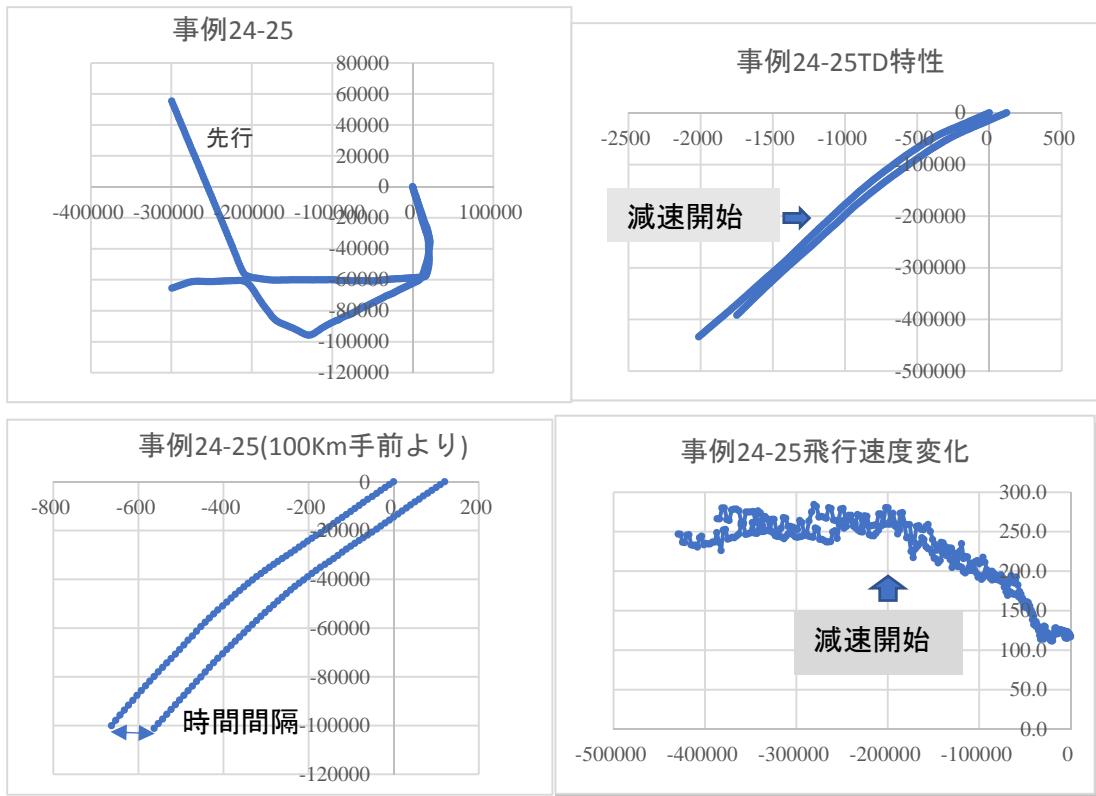


図 2 事例先行/後続フライトの飛行軌跡、TD 特性、飛行速度変化

事例での時間間隔は約 100 秒で安定している。図 2 の先行/後続フライトの曲線の横軸での差は同一飛行距離での時間間隔となる。時間間隔が比較的一定に保たれることは、二つのフライトが同じ飛行距離を飛行する各時点で、速度がほぼ同一であると推定される。事例先行/後続フライトの飛行速度も図 2 に示した。表示の初期では、先行/後続フライトの飛行速度は同等であり、以後、同様な飛行速度減少が示されている。飛行速度減少開始は合流点 200Km 手前の飛行距離、1000 秒手前の飛行時間である。以上の事例による説明で、時間間隔が一定化するのには、先行/後続フライトの同一飛行距離での飛行速度減少(減速度特性)がほぼ同一であり、時間間隔は連続して一定に保たれる要因になる。

2.5 TD 特性と二次元飛行軌跡の関係

TD 特性は全て同じであるとは限らない。特に飛行時間と飛行距離に違いがある。

飛行距離の長い連続フライト(#19-30)の二次元飛行軌跡と TD 特性を図 3 示す。その意図は以下の通り。

- 二次元飛行軌跡は TD 特性とは独立であること、
- TD 特性に多少の違い(距離と時間)があること

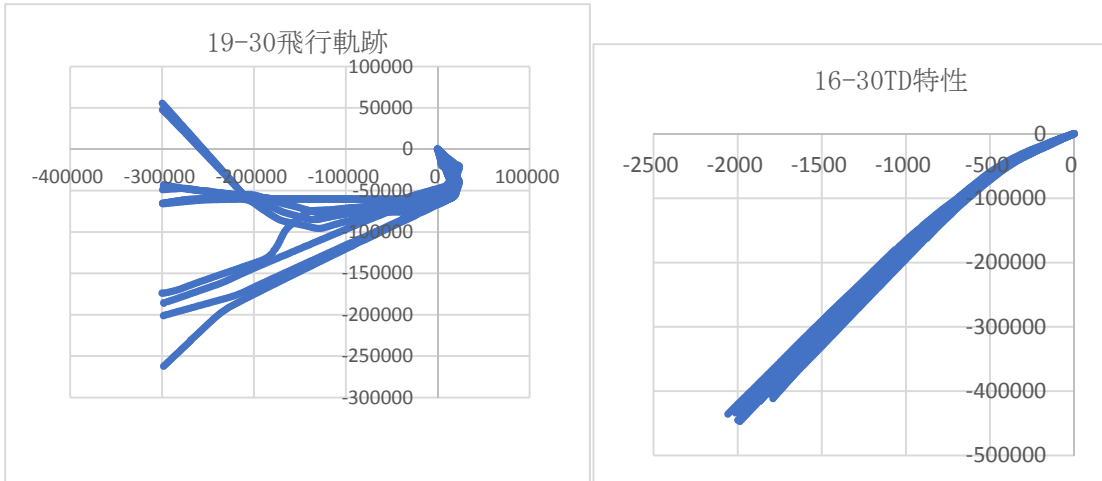


図 3 二次元飛行軌跡と TD 特性

3. 飛行間隔と飛行距離の予測

以上は、飛行後の飛行間隔、飛行時間と飛行距離の分析であった。大切なことは、分析結果に基づいて、飛行間隔、飛行時間、飛行距離をできるだけ正確に予測することである。以上示した結果は、以下に示す予測のためのもので、飛行間隔の監視のために利用はできない。

本節では、予測について触れる。ここでの前提は、先行フライトの TD 特性が与えられるとする。

予測の方法は、二段階で行う。第一段階では後続フライトの TD 特性の特定、第二段階では、特定した TD 特性の時間・距離を実現する二次元飛行軌跡の特定を行う。予測方法は前提を定め、概略を示す。

- TD 特性の選定
比較的安定した時間間を与える TD 特性の選定(基準として変動幅など)
- 初期状態
領域に到着フライトが存在しない場合を初期状態とし、最短の TD 特性を選定

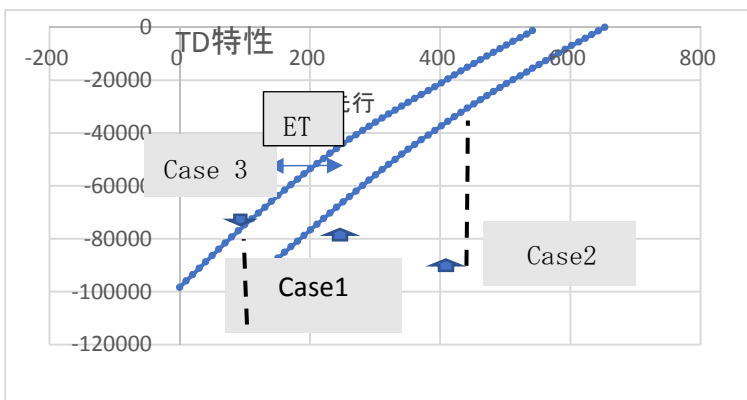


図 4 後続フライトの TD 特性の特定

3.1 後続フライトの時間間隔と飛行距離・飛行時間の予測 (TD 特性の特定)

先行/後続フライト間の期待時間間隔 ET が与えられたとする。図 4 参照。

- ① Case 1 後続フライトの領域進入時刻差が先行フライトとの期待時間間隔と同等の場合
後続フライトの TD 特性は先行のものを採用する。
- ② Case 2 後続フライトの領域進入時刻差が先行フライトとの期待時間間隔より広い場合
後続フライトの領域進入時刻で飛行距離を短縮し、期待時間間隔と交差する飛行距離を得て、TD 特性とする。
- ③ Case 3 後続フライトの領域進入時刻差が先行フライトとの期待時間間隔より狭い場合
Case2 とは逆に、後続フライトの領域進入の時刻で飛行距離を延長し、TD 特性が先行フライトの進入時刻での飛行距離と合致するように TD 特性を選ぶ。

以上の手順で、TD 特性を特定できる。

3.2 後続フライトの二次元飛行軌跡の予測 (特定)

最終的には、TD 特性から二次元飛行軌跡を特定することが求められるであろう。二次元飛行軌跡は二次元開始点が与えられ、TD 特性で示された飛行距離の二次元飛行軌跡を描く問題で、条件を満たす、飛行軌跡を描くことはそれほど困難ではないと思われる。

4. おわりに

本資料で示したことは、先行フライトの TD 特性が与えられたとして、本資料で示した方法により、後続フライトの TD 特性を逐次予測・特定することで、比較的容易で、正確な(安定した)飛行間隔の予測・特定が可能になる。そのことが更に、飛行時間と飛行距離、飛行軌跡の予測・特定が比較的容易で、正確に行えることが出来るという利点がある。但し、この方法が効果的であることの検証や保証をする域には達していない。

最後に、データ提供をいただいた、国土交通省各位に感謝いたします。