

同一滑走路の到着機交通流に おける着陸回数

航空交通管理領域

山本哲士

岡 恵

発表内容

- 研究の背景
- シミュレーションの概要
- シミュレーション記録の解析
- まとめ

研究の背景

- 航空交通量の増加が予測されている
 - 空域・空港の容量拡大(新空港・新滑走路等の整備)が推進されている
- 航空交通量の増加に対応する管制手法が必要
 - 実際の運用環境に近似させて(航空管制官が参加した実時間シミュレーション)検討

シミュレーションの概要

- 実時間レーダー管制シミュレーターを使用
- 同一シナリオを8回試行
- 管制官がシナリオの航空交通流に対し管制上介入し、交通流の変化を解析する

シミュレーション実施状況



管制席

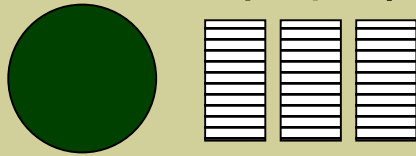


パイロット席

管制席の配置

ターミナル空域

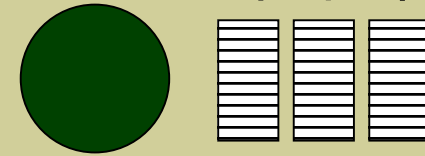
レーダー管制卓



対空席 調整席

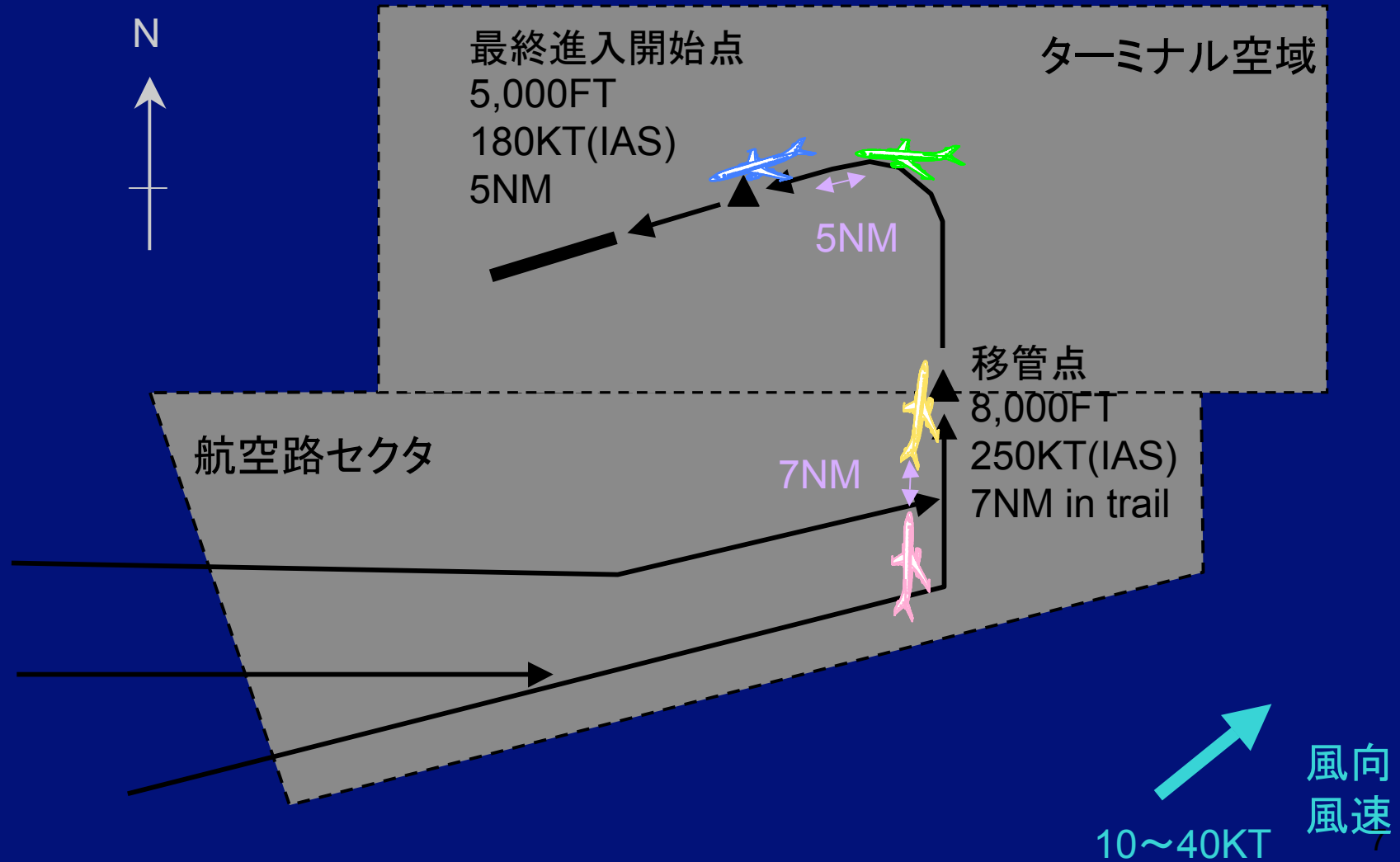
航空路セクタ

レーダー管制卓

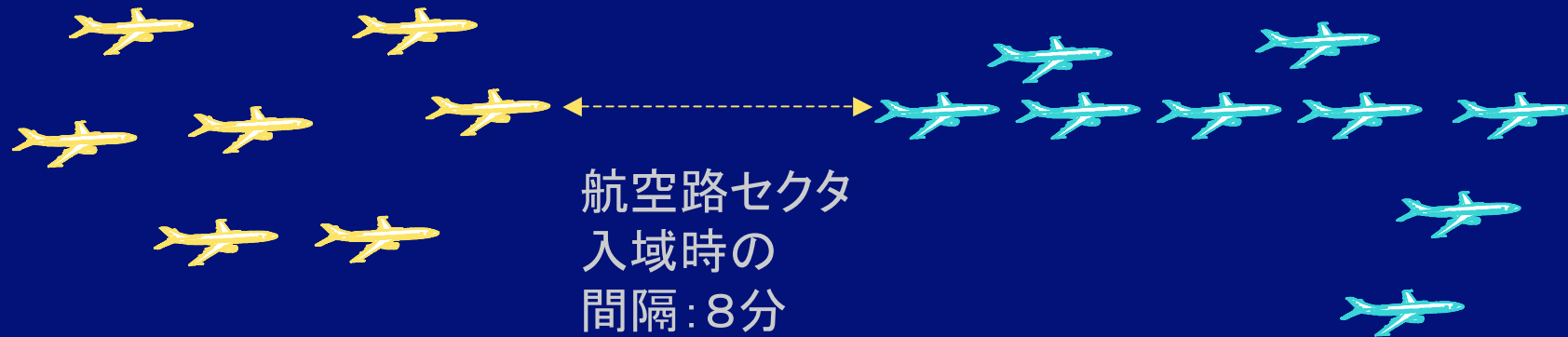


対空席 調整席

シナリオの空域、飛行経路 及び移管の条件



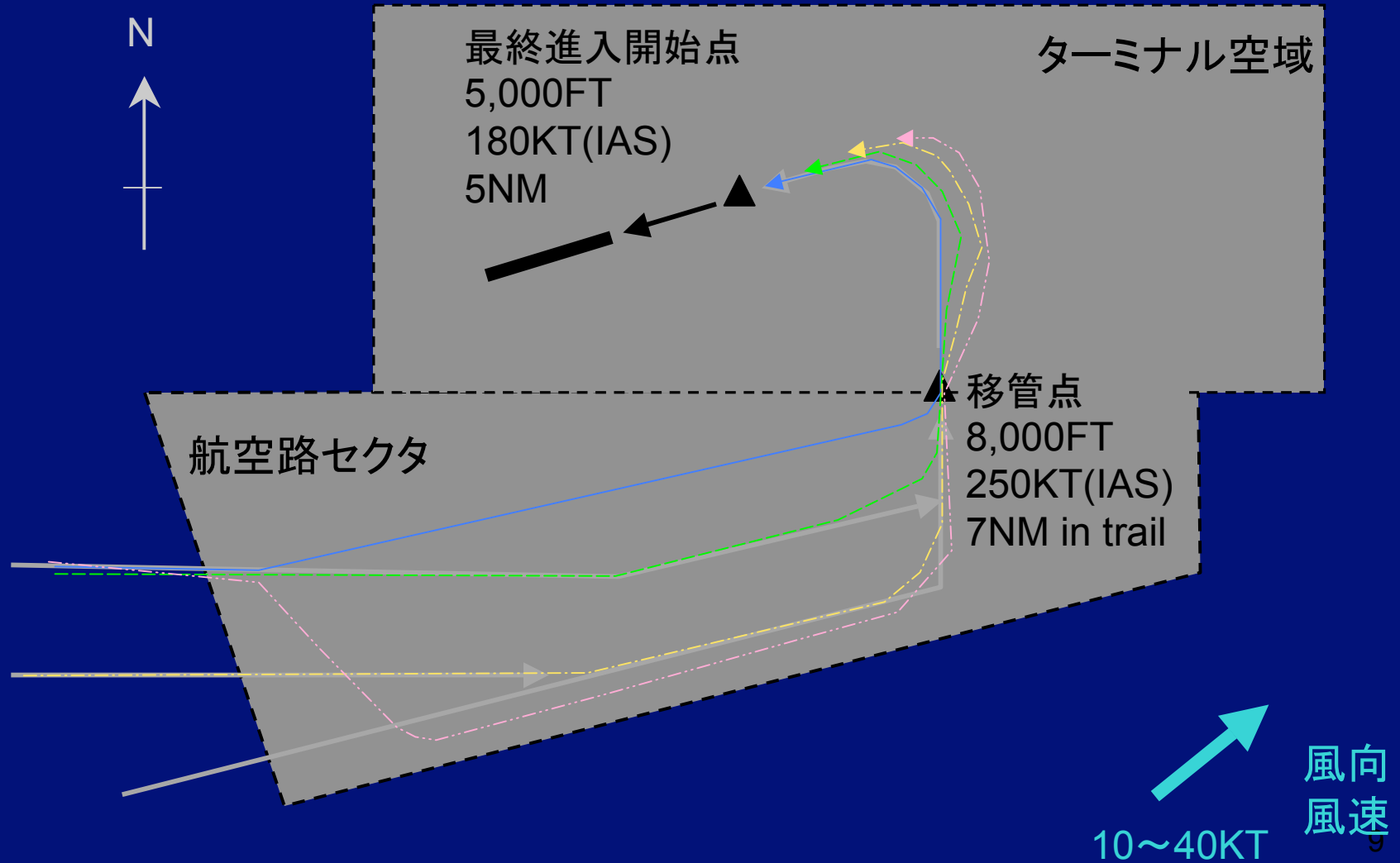
シナリオの航空交通流



第2グループ (7機)
航空路セクタ入域間隔: 平均約30秒
高度: FL250~FL270

第1グループ (9機)
航空路セクタ入域間隔: 平均約45秒
高度: FL250~FL270

航跡



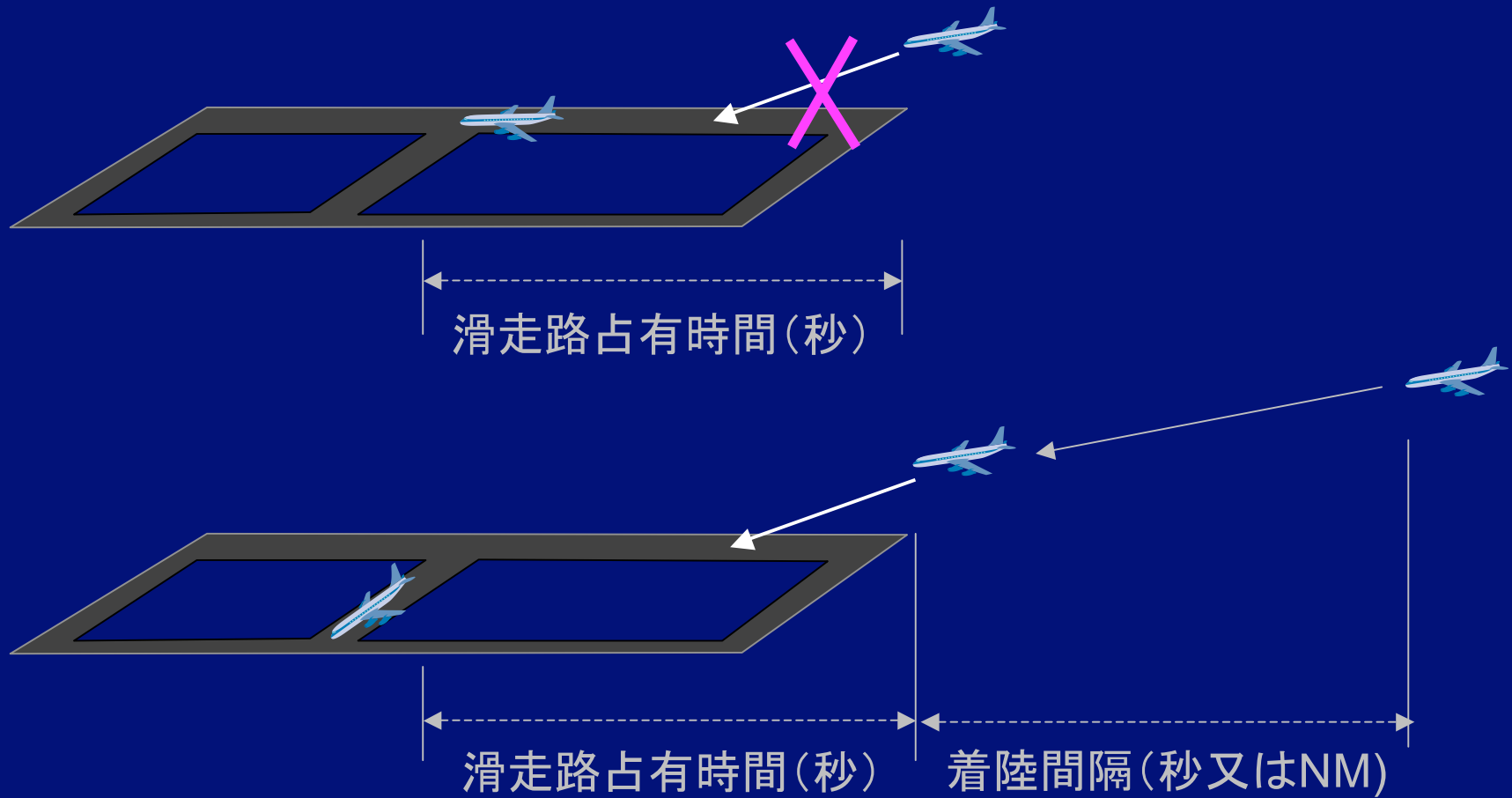
航空交通流パラメータ(シナリオ)

| | 高度 (FT) | 速度(KT) | | 間隔 | | 飛行距離(NM) |
|---------|------------|--------|-----|------|-----|----------|
| | | IAS | GS | (NM) | (秒) | |
| 移管点 | | | | | | |
| 平均値 | 8,044 | 250 | 311 | 6.3 | 67 | 81.9 |
| 標準偏差 | 175 | 0 | 1 | 13.2 | 133 | 3.7 |
| 最大値 | 8,700 | 250 | 314 | 53.4 | 540 | 87.3 |
| 最小値 | 8,000 | 250 | 310 | 0.3 | 0 | 79.1 |
| 最終進入開始点 | | | | | | |
| 平均値 | 4,983 | 179 | 184 | 3.9 | 67 | 54.0 |
| 標準偏差 | 22 | 1 | 1 | 8.2 | 132 | 0.1 |
| 最大値 | 5,000 | 180 | 185 | 33.0 | 536 | 54.2 |
| 最小値 | 4,950 | 178 | 183 | 0.2 | 4 | 53.8 |
| 滑走路進入端 | | | | | | |
| 平均値 | 66 | 133 | 123 | 2.6 | 67 | 15.3 |
| 標準偏差 | 30 | 3 | 3 | 5.3 | 132 | 0.0 |
| 最大値 | 100 | 142 | 133 | 21.6 | 536 | 15.3 |
| 最小値 | 25 | 130 | 120 | 0.1 | 4 | 15.3 |

航空交通流パラメータ(試行)

| | 高度 (FT) | 速度 (KT) | | 間隔 | | 飛行距離 (NM) |
|---------|---------|---------|-----|------|-----|-----------|
| | | IAS | GS | (NM) | (秒) | |
| 移管点 | | | | | | |
| 平均値 | 9,393 | 254 | 330 | 9.0 | 99 | 83.7 |
| 標準偏差 | 2,886 | 13 | 37 | 3.3 | 42 | 12.7 |
| 最大値 | 20,200 | 300 | 481 | 31.1 | 264 | 121.3 |
| 最小値 | 5,000 | 230 | 274 | 4.2 | 52 | 57.7 |
| 最終進入開始点 | | | | | | |
| 平均値 | 4,964 | 180 | 185 | 5.7 | 112 | 59.1 |
| 標準偏差 | 42 | 9 | 9 | 0.8 | 17 | 3.9 |
| 最大値 | 5,000 | 250 | 256 | 8.0 | 192 | 70.8 |
| 最小値 | 4,700 | 158 | 163 | 3.8 | 64 | 50.5 |
| 滑走路進入端 | | | | | | |
| 平均値 | 63 | 142 | 132 | 4.2 | 113 | 15.3 |
| 標準偏差 | 28 | 1 | 1 | 0.8 | 20 | 0.0 |
| 最大値 | 100 | 143 | 134 | 8.5 | 224 | 15.3 |
| 最小値 | 25 | 140 | 130 | 1.3 | 36 | 15.3 |

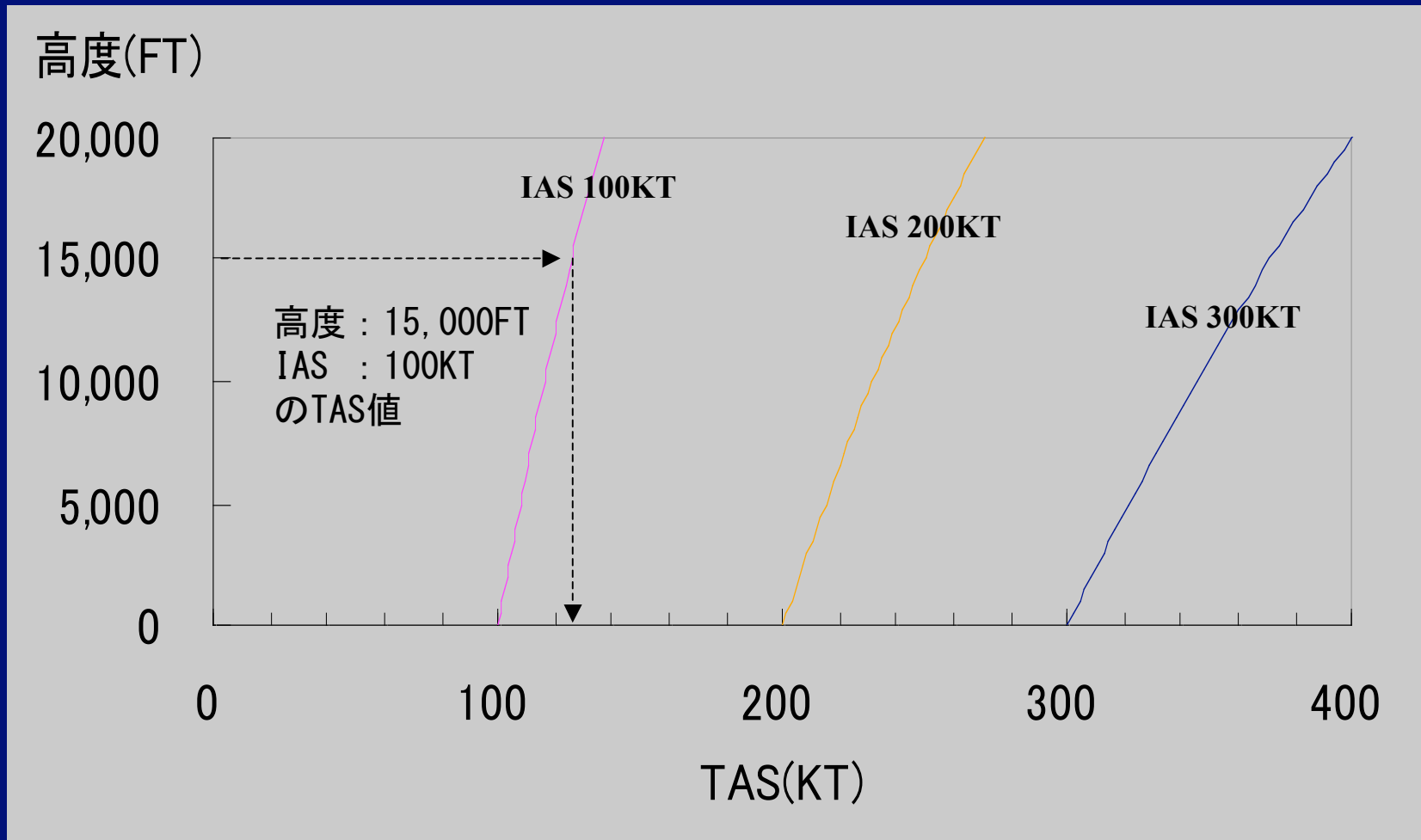
着陸間隔



航空機の速度

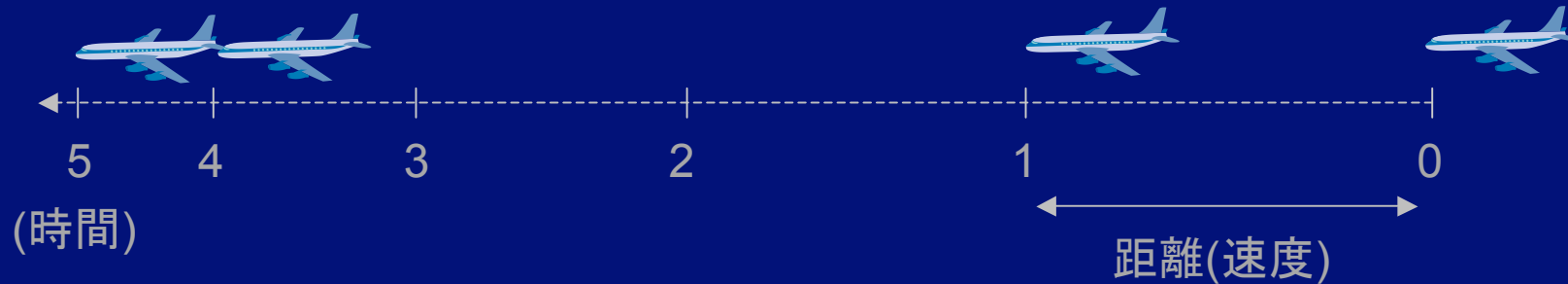
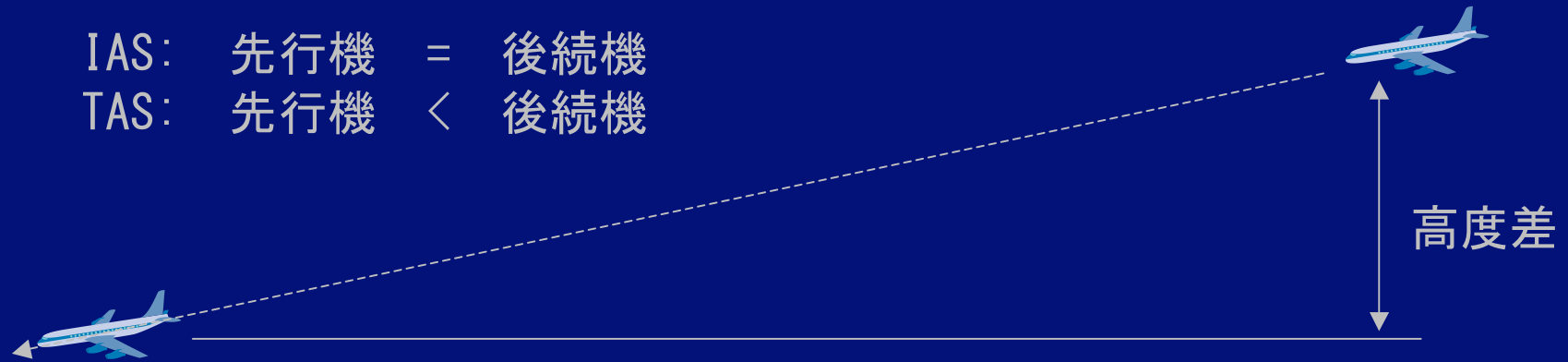
- 指示対気速度 (IAS: Indicated Air Speed)
 - 操縦計器に表示され、操縦に使用する対気速度
- 真対気速度 (TAS: True Air Speed)
 - 周囲の空気団に対する速度
- 対地速度 (GS: Ground Speed)
 - TASにその時の風の影響を加味した地表に対する速度

IASとTASの関係



高度差による相対速度差が生じる例

IAS: 先行機 = 後続機
TAS: 先行機 < 後続機

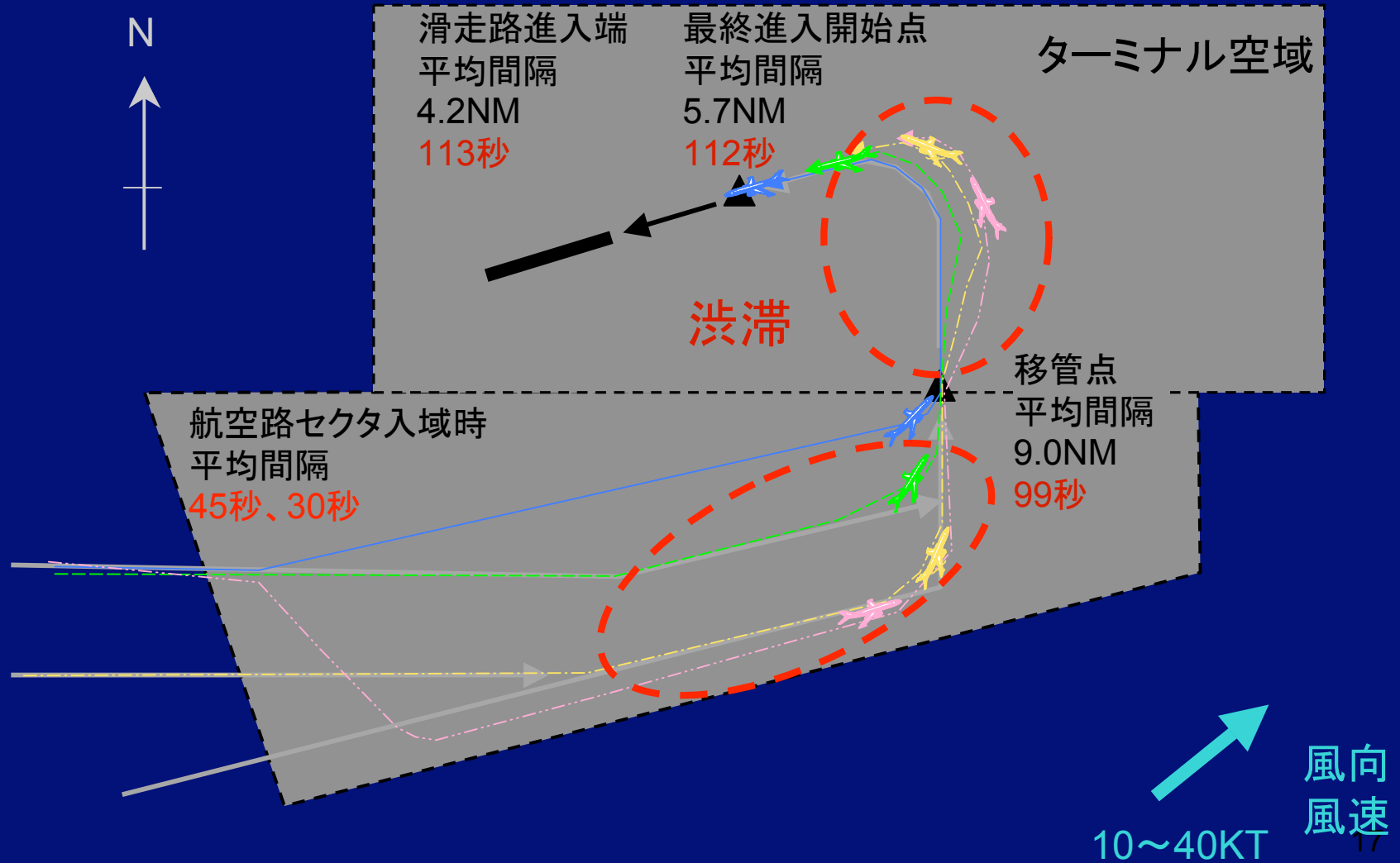


先行機と後続機の間隔

| シナリオ | 間隔 | | 飛行距離 (NM) |
|---------|------|-----|--------------|
| | (NM) | (秒) | |
| 移管点 | | | |
| 平均値 | 6.3 | 67 | 81.9 |
| 標準偏差 | 13.2 | 133 | 3.7 |
| 最大値 | 53.4 | 540 | 87.3 |
| 最小値 | 0.3 | 0 | 79.1 |
| 最終進入開始点 | | | |
| 平均値 | 3.9 | 67 | 54.0 |
| 標準偏差 | 8.2 | 132 | 0.1 |
| 最大値 | 33.0 | 536 | 54.2 |
| 最小値 | 0.2 | 4 | 53.8 |
| 滑走路進入端 | | | |
| 平均値 | 2.6 | 67 | 15.3 |
| 標準偏差 | 5.3 | 132 | 0.0 |
| 最大値 | 21.6 | 536 | 15.3 |
| 最小値 | 0.1 | 4 | 15.3 |

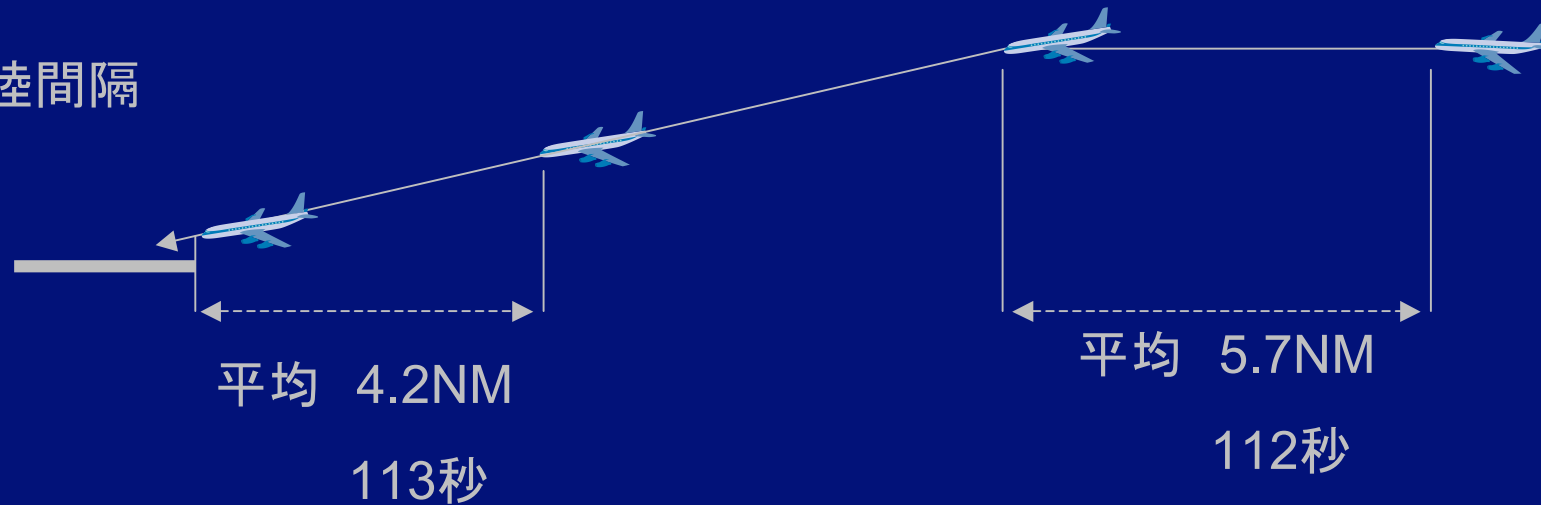
| 試行合計 | 間隔 | | 飛行距離 (NM) |
|---------|------|-----|--------------|
| | (NM) | (秒) | |
| 移管点 | | | |
| 平均値 | 9.0 | 99 | 83.7 |
| 標準偏差 | 3.3 | 42 | 12.7 |
| 最大値 | 31.1 | 264 | 121.3 |
| 最小値 | 4.2 | 52 | 57.7 |
| 最終進入開始点 | | | |
| 平均値 | 5.7 | 112 | 59.1 |
| 標準偏差 | 0.8 | 17 | 3.9 |
| 最大値 | 8.0 | 192 | 70.8 |
| 最小値 | 3.8 | 64 | 50.5 |
| 滑走路進入端 | | | |
| 平均値 | 4.2 | 113 | 15.3 |
| 標準偏差 | 0.8 | 20 | 0.0 |
| 最大値 | 8.5 | 224 | 15.3 |
| 最小値 | 1.3 | 36 | 15.3 |

滞留(渋滞)



着陸回数

着陸間隔



$$1\text{時間あたりの着陸回数} = \frac{3600(\text{秒})}{113(\text{秒})} = 31.9$$

本シナリオによる到着機交通流の着陸回数は、
1時間あたりに換算すると、32回程度となる。

まとめ

- 実時間シミュレーション記録の解析により、次のことがわかった。
 1. 着陸間隔と、到着機に対する管制上の介入は、相互に強く影響し合う。
 2. 着陸回数の設定に際しては、到着機の航空交通流に影響する管制方式等についても、考慮する必要がある。
- より多くのシミュレーションにより得られる記録、実運用における各種記録を解析することにより、さらに厳密な航空交通流の解析が可能となる。

おわり