

## 第4回 航空需要に対応した空港運用研究会 議 事 録

日時：2016年12月2日（金）15:00～

場所：大阪キャッスルホテル

### 「次世代の航空交通システムと空港運用への影響」

茨城大学 工学部 都市システム工学科 准教授 平田 輝満

#### ■道路と比較して航空は…

交通分野で次世代のシステムや交通のインテリジェント化というと、一般の方は普通、道路交通を思い浮かべます。道路の交通システムの次世代版はITS(Intelligent Transport System)で、今の自動運転も含めて開発されています。そういう研究会にも呼ばれることがあります。航空の分野ではどうなっているのか対比させて話すことがあり、そのときにつくった対応表があります。

道路と航空で、移動空間や操縦者の視認性、天候の影響の受けやすさ、監視能力、運転技能、自動運転などで違いをまとめてみました。例えば監視は、道路の場合は基本的にしません。最近はプローブデータといって、車に積んだセンサーを管制センターに集めるというようなことをやっています。運転技能でいえば、道路は素人ばかりですが航空は全てプロです。自動運転でいえば、道路は技術革新の途上ですが飛行機の場合は昔からオートパイロットが使われています。

法的な部分では、自動運転にしたとき間隔設定の責任といますか、事故を起こしたときの責任を誰がとるのは法的に整備できていません。航空交通システムにおいても、特に間隔制御は基本的には管制官の指示で飛行機が飛んでいるので、管制官がある程度責任を持っています。しかしオートパイロットに全て任せて自動で追従させるようになってくると、今度は間隔確保の責任も管制官ではなくてパイロット、飛行機に委譲していかねばならないので、同じような議論があります。

道路と航空は全く違う交通ですが、お互いの交通システムを見てお互い学べるところが意外とあります。

#### ■航空の将来は…

航空の現代と将来を比較してみますと、移動空間でいうと、今飛行機は止まれません。オスプレイは空中で止まりますが、将来飛行機の革新によって止まれる飛行機が出てくれば、管制システムも全く変わってくるでしょう。視認性も、今は雲の中は計器に頼って飛ぶしかありませんが、擬似的にパイロットが自らのレーダーを使って回りの航空機や気象条件が分かるようになると、天候が悪化してもビジュアルな状態のように飛べるようになるかもしれません。

#### ■世界の動向、CARATS

最初に航空システムの次世代化、近代化計画が出てきたのは、アメリカとヨーロッパです。アメリカではNextGen (Next Generation Air Transportation System) と呼ばれ、ヨーロッパではSESAR (Single European Sky ATM Research) と呼ばれています。

この二大プログラムがまず始まり、それに追隨して日本も、2010年に「将来の航空交通システムに関する長期ビジョン (CARATS: Collaborative Actions for Renovation of Air Traffic Systems)」を策定しました。計画年次は15年後の2025年で、もうすぐなのでそれまでにここに掲げた計画が達成できるのか疑問ではありますが、当時はそういう計画年次を念頭に置いて、変革の方向性を8つに分けて国土交通省の航空局で計画しました。

これに先だって研究会があり、今でも動いていますが CARATS の推進協議会のメンバーに私も入り、長期ビジョンと一緒に作成しました。

以下、CARATS についてピックアップしながら事例を紹介していきます。

### ■CARATS の目指す (数値) 目標

こういう目標を立てるのは航空局としては珍しかったのかもしれませんが、CARATS の目指す目標として具体的な数値を出して決めました。安全性は5倍、航空交通量の増大 (処理容量を2倍にする)、サービスレベルの10%向上 (定時性、速達性、就航率) などの指標を具体的な数値で示し、これに向かってシステムを改良していこうと目標を掲げました。

毎年モニタリングして3月に CARATS の1年間のレビューのレポートを出します。例えば「定時性」の場合、目標では10%向上になっていますが、CARATS が始まってから改善するどころか年々悪化しています。管制システム自体はパフォーマンスが向上しているはずですが、この5年くらいで航空交通量が劇的に増えています。特に関空を見ると、LCC が増えてきているので、管制システムに起因しない遅延が発生しています。LCC はオペレーション上で遅延しやすい。そもそも安くするために、機材の稼働率を上げるためにとにかくターンアラウンドタイムを短くし、何回も往復しています。その行き帰りに遅延が発生してしまうので、管制システムとは別の次元で定時性が悪化している部分も全て入ってしまうのでなかなか難しいのです。

### ■空域ベースから軌道ベースへ

最も大きな概念の変化として掲げているのが、「空域ベースから軌道ベースへ」ということです。日本の空域が非常に細分化されたセクターなので、今は個別空域ごとに分かれています。その「部分最適から高度な時間管理による空域全体の最適化へ」というのを「空域ベースから軌道ベースへ」と呼んでいます。

これも言うはやさしく、やるのは難しいのです。現状、ある空港から空港へ行くとき、離陸して飛行経路を通り着陸するわけですが、その間に空域のセクターが区切られていて、各空域を一人の管制官が責任を持って誘導、右から左へバトンパスしていく、そんな運用をしています。語弊を恐れず言うと、このセクターの管制官はこのセクターのことしか考えていません。実際はもちろんそんなことはないのですが、あくまでも極端に言うとうそになるわけです。仮にこちらの空域で混んでいても、別の空域の管制官はどんどん混んだ空域に飛行機を送り込んでくる。基本的に混雑空港に行くことを考えると、最後になればなるほど交通が集中して、かつ空域が狭くなるので、そこで混雑が発生します。

手前は空いているので、本当はこちらで事前に調整していれば良いのですが、しわ寄せが最後の混雑空域にきて、その結果ワークロードが上がって、下手をすると処理容量のレベルが落ちてしまいます。そんな非効率性が生じます。

軌道というのは3次元の飛行軌跡に時間を加えた概念で、4次元の飛行軌跡のことをいいます。概念的には空域を全て取り払って、飛行機が離陸してから着陸するまで、どこを何時に通過するかをあらかじめ全て計画し、その通り飛べばコンフリクトも起きないし混雑も派生しません。軌道をあらかじめ空域の容量や交通量を予測して各飛行機に割り当ててそれを順守して飛ばす、それを軌道ベース運用と呼んでいます。概念としては単純ですが、それをやるために今も非常に苦労しています。長期的にはこういうことを目指しています。

### ■到着機の順位付け・整流イメージ（羽田空港行きの例）

空域の非効率性で、羽田空港の混雑に起因する非効率性に関してよくあげる例があります。羽田の7割が西から来るのでこのあたりの空域に集中して混雑が発生します。最後は1列に並べなければなりませんので、ここで右に行け左に行けという指示を管制官が行います。従ってここが今日本では最大の混雑空域の一つになっています。

### ■分割空域におけるレーダー誘導の例（福岡→羽田）

福岡-羽田便を見ると、本当の飛行経路はこのように膨らんでいるのですが、実はみんなショートカットして飛んでいます。ショートカットで飛行経路が短くなっているため、各飛行機にとっては燃料消費や定時性の面から良いのです。しかしこれによって到着時刻が早くなるので、管制が予測している混雑率の予測値と乖離が生じ、逆に予期せぬ混雑が発生します。途中ではスムーズに飛んでいるのですが、着陸直前の空域で右に左に動かされる。セクターが、航空路管制と空港周辺の進入管制と二つに分かれており、ここがまた別の組織です。航空路管制は所沢の管制所で、羽田進入管制区は羽田のレーダー室でやっている関係で余分な誘導が発生する傾向がありますが、こうした課題を解決したいというのが軌道ベース運用の一つの視点です。

### ■航空機の軌跡の図

11ページは航空機の軌跡を表したものです。左の辺りが関西の空域で、関空と伊丹があります。伊丹は大体南から入っていく。関空は大阪の海上でぐるぐる回りながら入っていく、そういう軌跡を見ることができます。関空周辺の地域は軌跡が少ないので非常に静かであることが分かります。

### ■軌道ベース運航 TB0:Trajectory-based Operation

軌道ベース運航は、各飛行機の軌跡と通過地点を4Dトラジェクトリ、4次元の軌道ということで指定して飛ばそうというものです。昔のレーダーがない時代は、ノンレーダー管制といって、飛行機は固定的な飛行経路上を飛んでいました。途中で通過地点を用意し、そこに到着したら「今通過しました」と無線で報告し、「通過した」という情報を元に次の飛行機を入れていく、というようなものでした。その時代から次はレーダー管制、つま

りレーダーで現在位置を把握するようになります。現在の情報を元に管制する時代から、将来予測をして事前に時間調整する時代に変化してきました。

### ■空港面での高精度な時間管理

軌道ベースの時間管理を、空港の運用にも応用しなければなりません。空港面では、離着陸する時刻を場当たりの決めるのではなく、滑走路の容量が最大になるような離着陸時刻をあらかじめ予測し、その時刻にきちんと飛行機に来てもらうようにするわけです。それが空港面での高精度な時間管理です。そういったことを羽田や関西、伊丹などの混雑空港でやっていこうとしています。

軌道ベースの最も不確率性のあるところは離陸時刻と着陸時刻で、これをどう事前に指定するかが重要になります。

空港面の離着陸時刻を、その手前の空域の軌道の予測とともに一体的に行おうという取り組みが今まさにされています。世界的にもこの運用はまだうまくいっておらず、トライアル段階です。地上面のコントロールと空港まわりの進入管制区のコントロールと巡航高度のエンルートと呼ばれる航空路の管制の時間管理をいかに一体的に行うかが大きな課題です。

### ■米国：合流支援システム (Traffic Management Advisor:TMA)

時間管理は昔から、特にアメリカなどでされており、アメリカの合流支援システム (TMA) は 1990 年代の前半くらいから取り入れられています。混雑空港に向かって全米から集まって来て、最後に一列に並べていくわけですが、そうすると四方八方から来る飛行機をどんどん合流させていくことになります。航空会社が、事前に飛んでくる飛行経路と到着予定時刻を飛行計画という形で管制官に提出しているの、その情報を元に、現在飛んでいる飛行位置も加味しながらリアルタイムで、Meter Fix という交通量を整理するポイントに来る時刻を管理し、全ての飛行機に対してずらっと並べます。

私も以前アメリカへ行ったときに実際見せてもらいました。管制官が管制をしている横にディスプレイがあり、フライトナンバーと予定到着時刻が書いてあります。これがダブっていると同じ時刻に到着してしまうので、さきほど説明したようにターミナル空域で余計な誘導をさせられてしまうことになるのを避ける対応をします。現在の予定到着時刻に対し、右側が目標到着時刻です。例えば「AAL652」便の横に「2」と書いてあるのは、今の到着予定時刻より 2 分間遠くの空域で遅らせてください、ということコンピュータが計算して管制官に指示します。

これはどちらかというと、空港から離れたところを管制している管制官に対してこのような情報を与えます。それをどうするかは管制官に任せられます。速度を遅くする、事前に少しホールディングする、などで目標を達成すると、全ての飛行機が自然に順序良く入って行くことが実現されます。これが TMA と呼ばれるもので、非常に初期の軌道ベース運用の概念であり、今でもアメリカでは主力で動いています。これをベースにより精度を上げていっている最中です。日本でもこのようなシステムの検討、試行がされている最中です。

### ■TMA の効果例

昔のレポートに書いてあったものです。TMA がない場合は事前にかなり四方八方に誘導させられたりするのを、TMA を使って時間管理すると空港周辺であまり誘導されることなくスムーズに入っている、という 2 枚のビフォーアフターの図があります。これは非常にうまくいった顕著な例を示しているだけだとは思いますが、このような効果を期待して時間管理を行っています。

時間管理をして空港周りの混雑を解消することが長期的に目指すところですが、今でも各飛行機の到着時刻の誤差が非常に大きく、制御してもあまり交通量がスムーズにならないケースがあります。その際にバッファとして空港周りの誘導を、日本的な“出たとこ勝負”で右に行け左に行けとやるのではなく、あらかじめ待機経路をつくっておいて空港周りの管制官のワークロードを下げようとしています。幾何学的な調整と時間的な管理を組み合わせるやっつけようとするのがアメリカや日本の考え方です。

#### ■Linea Holding for efficient merging of arrivals with lower ATC workload

RNAV という経路を使って、空港に着陸する際、一度空港と反対側に振っておいて、先行機との間隔を見ながらタイミングの良いところで最終進入経路に旋回する指示を出す。こうすることで管制はしばらく放っておけるわけです。ここに入っているときはモニターするだけで指示もなく勝手に飛んで行くので非常にやりやすい。旋回する指示だけを出せば良いのです。

#### ■Point-merge system

四方八方からくる飛行機を合流させるとき、先ほどのリニアホールディングのような感じではなく、ある合流地点から同じ距離のところに円弧を引いて飛行経路を引きます。高度差があるので同じ経路を飛んでも大丈夫です。先行機と 3 マイルの間隔がとれたら次の飛行機を合流点に向かって旋回していいよということです。考え方はリニアホールディングと同じですが、このような新しい幾何学的な模様を描いて管制していくのが最近の世界のはやりです。

#### ■CDA 継続下降方式

ターミナルでエアラインサイドとして特に要求されるのが CDA (Continuous Descent 方式) です。昔ながらの合流管制をやると、一回降ろして水平飛行、ちょっと降ろして水平飛行、というやり方をとらないと管制官がうまく合流させられませんでした。飛行機は水平飛行をしていてもエンジンのスラストを上げて燃料を消費するので、着陸時はなるべくエンジンをアイドル状態にしてグライダーのようにすーっと降りていった方が、騒音も小さいし燃料も少なくてすみます。これを CDA といいます。

CDA をするためには、巡航高度から降りていく手前できちんと前後の飛行機との間隔をとってすーっと降りていく、ということをやらなくてはなりません。時間管理がしっかりできると CDA で燃料消費を削減できます。日本では関空の深夜便で今もやっていると思います。深夜便というのがミソで、混雑時間帯にこれをやると当然容量が落ちます。従って、混雑空港でどうやって CDA を行うかは、現状の課題となっています。そこでもやはり飛行機の到着時刻や軌道の予測精度が物をいいます。

## ■航空交通流と容量：計画的な交通流形成

交通流管理をする上で、計画的に交通量を形成することが重要です。航空は、交通流について、エアラインが全て飛行計画を提出してくれるので、交通量、各飛行機の到着時刻などの予測は道路に比べて基本的にはるかにやりやすいのですが、精度が要求されます。軌道ベースでやるためには、その時刻に羽田からどのくらい離陸するのか、つまり何時何分にどの滑走路から何機離陸するのかの情報がなければなりません。羽田空港は離陸と着陸が従属関係にあるので、離陸の状況を踏まえて着陸の時刻も予測しなければならない。そういう複雑な予測が入ってくるのですが、飛行計画通りに飛ばない最大の理由は気象条件の想定ミス（不確実性）です。そのあたりも、気象情報を最新のものにアップデートしながら、予想到着時刻をなるべくみんなで共有して同じ情報のもとに交通量を形成していくことが大前提として重要となります。

## ■航空交通流管理（ATFM：Air Traffic Flow Management）

そういう情報をもとに、現状でも航空交通流管理（ATFM：Air Traffic Flow Management）を行っています。ある空港や空域で過度な混雑の発生が予想される場合、6時間とか8時間先の交通量が大体予測できるので、例えば羽田空港である時間帯でキャパシティを超える交通量が予測されたときに、そのまま飛行機が飛んでくると、上空待機が発生します。空中で待機するよりは出発空港の地上で待っていたほうが燃料も消費しないし安全性の面でも良いので、出発時刻を遅らせます。地方空港から羽田空港に来る便が遅れて、「羽田の混雑により管制の指示で出発が5分遅れています」というアナウンスを皆さんよく聞くと思いますが、それはこのせいです。

25 ページのグラフをご覧ください、赤い線を容量だとすると、飛び出している部分を後ろに全部ずらして玉突きで遅らせ、容量内に抑えるように交通流整理をするわけです。羽田空港が一番多いですが、途中の空域でもこれは発生します。

## ■交通流制御実施回数の上位エリア

26 ページは少し古い資料ですが、年間の交通流制御実施回数のトップはやはり羽田空港です。次がその一つ手前の空域で関東 A セクター。関西の空港で発生しているところはまだなく、混雑はそんなに発生していないことが分かります。当時は交通量がまだ増えていなかったからで、最近は分かりません。

一番問題になっているのが G585 という、北京や上海方面に行く経路です。例えば3分、4分、5分に1機出ているのを急に、1時間で3機にしぼってくださいといった大きな交通制御がかかると、一気に混雑します。そのせいで関空からの国際線は全て遅延するといった状態がおそらく発生しているのではないかと思います。東京でも起きています。国際線の遅延は大半が前述の二つのルートでの交通流制御が原因です。従って日本の空港だけの問題ではなく、アジア全域を含めた国際的な空域の管理が重要になってきます。

## ■出発時刻制御プロセスの概要

交通量は飛行計画を元に予測し、容量は主に気象庁からの気象データで各空港や空域の

容量を予測して比較し、交通制御をしています。特に容量の予測が今課題です。

### ■ATFMにおける予測上の不確実性

予測するときには精度の問題があります。交通量の予測でいくと、航空会社が到着時刻などの飛行計画を提出するわけですが、そもそも飛行機は、たった一人が遅れただけで5分遅れたりします。そんなことは予測できないわけです。そういう予測誤差をどうシステムの中に内包するかが需要予測上は問題であり、容量予測の面では気象条件も非常に短期的に変わる場合にどう予測するかが問題になります。需要と容量の不確実性にどう対処するかは技術的な課題だと思います。

アメリカでは以前、交通流管理をするときに、飛行計画情報をエアラインから管制機関に提出させていたのですが、そこで“正直者がばかを見る”システムをつくってしまいました。お客さんがあらかじめ遅れることが分かり、遅延することが分かれば、「10分遅れる」という情報を当然エアラインから管制機関に報告してくれたほうが、管制機関はいい。その結果、実は二重に遅延が生じるという事態が、制度上起こっていましたが、ダブルペナルティ問題。「10分遅れる」ことを言わなければ5分くらいの遅延ですむ。だから“正直者がばかを見る”システムなわけで、それを回避するために制度自体を改良してきた歴史があります。日本もこのような視点の制度設計が今後必要かもしれません。

### ■飛行全体でみた航空交通流管理と到着管理

今の話は「交通量」の制御なので、ボリュームコントロールといいます。もう一つは「時間管理」という概念です。軌道をあらかじめ各飛行機に割り当てたらその通りに飛ぶ、これを時刻管理とか、間隔制御（シークエンス・セパレーションコントロール）といいます。このボリュームコントロールと間隔制御をいかに連続性を持って接続するかが、アメリカでも今研究開発が進んでいる、最前線のところですよ。

つい先日行われたATSシンポジウムの資料がウェブにあったので、航空局のスライド「更に増加する航空交通量への対応イメージ」を紹介します。AMAN (Arrival Manager 到着管理)、DMAN (Departure Manager 出発管理)、SMAN (Service Manager 地上管理) という、到着と出発と地上の管理システムを全部統合しましょうという概念図です。日本でもやっています。アメリカのTMAのような画面ですが、飛行機の到着順序をどうコントロールするかの概念図です。日本でもこういうことをやろうとしています。

次の絵「最適到着順序及び時刻等の管制機関間情報共有」のACCというのは航空路の管制です。計画時刻より遅延している場合、予定の経路よりもショートカットをさせます。逆に到着時刻より少し早い場合、混雑するので早めに減速させて到着時刻を調整するといったことを、このタイムラインの画面を見ながらやります。まさにTMAそのものです。おそらく部分的にもうやっていると思います。

同じ情報を共有することが重要です。別々の気象データを使って予測していたり、到着飛行経路も別々のものを使っていたりということがあるので、今までやっていたトライアルは大体失敗していたわけです。

国土交通省の資料の「PMS運用イメージ(最適着陸間隔への更なる微調整)」で示されているように、日本でも時間管理とポイントマージシステムを組み合わせようとしているよ

うです。結局、予測時刻の精度はそこまで達成できないので、最後の調整弁としてポイントマージンシステムを羽田空港の手前につくって微調整し、管制官のワークロードも下げ、管制の間隔付けの精度も上げようということを今計画していると思います。

### ■従来からの地上無線施設による飛行・着陸

今までは全体の話で、ここからは、空港の運用に関わってくるので、関西空港の運用を考える上ではここからの方が重要かもしれません。従来の地上無線施設による飛行・着陸では地上から発せられる電波を受信してそれに向かって飛んでいました。地上に無線施設が必要なので、海や山の上には置けない、非常にジグザグした飛行経路を飛ばざるを得ませんでした。これが地上施設に依存した航法で、従来型です。

着陸に目を向けると、ILS と呼ばれる、滑走路付近から発せられる、角度と横方向のガイダンス電波に乗っている。これによって、雲が出ていても着陸できます。

### ■性能準拠型運用 (Performance -based Operation:PBO)

地上の無線施設に依存したものではなく、性能準拠型 (Performance -based Operation) では、GPS の受信能力や、飛行機が持っている慣性の航法システム (inertial navigation system) など、オンボードの機器の性能に準拠して、その性能が高ければ経路の間隔も縮められたりなど、そういうことをやろうとしています。

### ■Conventional v.s. RNAV & RNP in procedure design

最近出ていた資料にわかりやすい図があったので持ってきました。一番左の図はコンベンショナル・ナビゲーションとあって、地上の無線施設を結んで飛行するようなイメージを描いています。RNAV がエリア・ナビゲーションとあって、イメージ的にはGPS を使い地上の電波施設より精度を上げて、しかも地上の無線施設によらないので、最適な経路を飛べるようにするものです。

最近特にRNAV の中でもRNP (Required Navigation Performance) という、性能要件をさらに厳しくしたナビゲーションがあります。図の点線は、飛行機が飛ぶ可能性のある幅、つまり飛行の誤差を示しています。ここから見ても、誤差の幅が変わっているのが分かります。飛行位置の精度が上がるので、ここがいわゆる保護空域となります。この保護空域が重ならず分かれるように経路を引きます。この保護空域は、飛行精度が上がれば狭くなります。

従来型の地上無線施設の場合、地上から発せられる電波が遠くなればなるほど精度が落ちるので、保護空域が無線施設から遠くなると広がっていきます。左の図の点線の図形が台形になっているのはそういう理由です。ILS も滑走路からこういうふうに電波が伸びているので、距離が離れるほど精度が落ちます。このように精度が距離に依存しているところが問題です。GPS なら無線施設によらないので、どこにいても無線施設からの距離に依存しない保護空域が達成できます。

### ■RNP APCH v.s. RNP AR APCH

GPS を受信しながら着陸する飛行機に対して、さらに精度の高いRNP AR (Authorization

Required) Approach を使った進入方式があります。

この表の 2 行目のチェックは、RNP AR であれば、保護空域の幅が 0.3 マイルよりも小さく、0.1 マイルくらいまでと、非常に精度が高くなるということを示しています。

4 行目に Curve between FAP and RWY(ランウェイ)と書いてありますが、これはファイナルアプローチのポイントから滑走路に曲がりながら、先ほどの精度を保って着陸できるということを示しています。

こうした RNP AR と呼ばれるものを積極的に活用して、今までは山があつて引けなかった経路や、複数の経路が重なって離さなければいけなかったものを、非常に狭い経路で引けるなど、そういうことができるようになってきています。

#### ■A word on A-RNP

進入の例です。全て RNP ですが、一番左が RNP のアプローチ、中央の図が A-RNP といって RNP の少し精度が高いもの、そして右の図が RNP AR です。RNP でも滑走路が曲がったところでは保護空域が広がってしまうところがありますが、最も精度の高い AR だと、最後まで保護空域が直線的に引けます。例えば平行な滑走路に曲がりながら計器を使って入って行くのも理論的には可能だろうと思います。

#### ■What PBN can bring to our customers

ここに経路の中心線があると、左右に保護空域があります。断面の下の、障害物に対しては図のようにまた別の基準で障害物との間隔が引かれています。このハコが地上でいえば地上物件とぶつからないように、複数の経路であれば、複数の経路が保護空域をかぶらないように経路を設定するというのが飛行方式設定となります。専門家はこうして経路をどこに引けるかを考えます。

#### ■RNAV 経路の一例(福岡空港到着経路)

これは福岡の、南側から着陸するとき、今まではぐるりと回って佐賀の方まで回っていたのが、RNAV で経路を引くと、南側からすぐ東側から回れます。おそらくこのあたりに山があるからではないかと思います。RNAV の保護空域の狭さを使うと、ぐるりと佐賀の方に回りこまずに、経路を短縮することができます。

#### ■RNP

RNAV と RNP は、原理は同じですが、経路維持監視警報機能を有する非常装置により、レーダー監視空域外でも飛行できるのが RNP です。RNAV は、今自分がどの GPS を受信していて精度がどのくらい、ということをつからない場合に使います。プライマリの GPS の精度が悪いことを、モニターできる機器が積んであると、このままだこの RNAV の経路を飛ばないとなったときに、警報を出してくれます。そういうオンボードのモニタリングと警報装置が付いている場合に RNP、さらに精度と信頼性が高い A-RNP があります。さらに AR になると、曲がっているところでも精度が保たれます。

#### ■羽田 RNAV (RNP) RWY23 進入

RNP の経路はここ数年で急激に日本全国で増えていて、特に地方空港で最初に始まったのが、最近では混雑空港でもはやっています。羽田でも深夜の経路をなるべく陸側から離して短縮するために使っています。昔の航法だと大回りしなければならなかったのですが、そうではなく、最後まで RNP AR でいくと、進入の曲線が少し手前に引けて、経路も短縮できます。陸域からも離せます。これは実際に運用されています。

大館能代空港の例でも、今までの航法なら進入するときに、山が邪魔で降りられないので、平野を通過して、比較的谷の部分を通って、滑走路が見えたら反対に回り込んでいくという、伊丹の北から来るときと同じような遠回りをしていました。RNP ならズドンとショートカットで進入できるわけです。地方空港で経路短縮効果が発揮されているようです。

### ■気象条件と着陸方式

羽田で気象条件別に 2005 年くらいの着陸経路を示したもので、左図が北風時、右図は南風時のものです。昔は南風時には 3 本しか着陸経路がありませんでした。青が着陸経路です。RNAV や RNP がなかった昔の時代は、ILS で入るか、天気がいいと、VOR/DME という角度と距離が分かる無線施設に向かってとりあえず飛んで行って高度を下げ、滑走路が見えたら後はぐるっと入って行く。そういう、VOR/DME アプローチと ILS アプローチしかなかったのが、今では先ほど説明した羽田のように、こういうものができています。

### ■AIS 情報 羽田の着陸経路

これは、AIS JAPAN のホームページにログインしてユーザー登録すると誰でも見られるチャートです。今最新の羽田の着陸経路を色々ってみました。

天気の悪いときに、A 滑走路と呼ばれる内側の滑走路に着陸する、これは普通の ILS です。先ほどの深夜の RNP アプローチがこう引いてあります。ここに RNP AR Special Authorization Required、特別に認証を受けた飛行機とパイロットしか行なえません、と書いてあります。地上電波のようなものは書いておらず、全部 way point と呼ばれる、通過すべきポイントを移動経路を指定してやるだけでその通り誘導してくれます。図のように曲がっていても全く問題ありません。

### ■AIS 情報 羽田の着陸 RNAV+ILS/CVA

これはまた、ここ 2、3 年で変わっていたものです。左の図は RNAV+ILS と書いてあります。もしかすると関西もこれから関係するかと思ってあえて持参しました。昔は騒音問題が、34 着陸機が北風時に千葉の木更津上空に通っており、うるさいと言われていました。

最近では天気の悪い時でも、最終進入経路で、ILS の長い経路をとらなくても着陸できるようになったので、東京湾の海上を飛んで行って曲がって海ほたるの上くらいで ILS に乗って着陸できます。

少し前まで、Chartered Visual Approach (CVA) と言って、地上物件を見ながら目視で入って行く、ただし管制官は見ている、そういうことをやっていました。有名なのが、アメリカのナショナル空港のポトマックリバーという川沿いに飛んでいくものです。川の曲線を見ながら飛んで行くという意味で Visual Approach です。Chartered Visual というのは、チャートで描いた線を目視で飛んで行くという意味です。これをやるためには、目視で見

えていないといけないので、見えていることをレポートしなければならないことなどが煩雑でした。

だから、左の図のように、こういうジグザグした経路を RNAV で引いて、RNAV と ILS を組み合わせて ILS のところを最小化していると言えるでしょう。

昔は Charted Visual なので、天気がよくないとこういうアプローチはできなかったのですが、今は天気が悪くてもある程度 RNAV で引っ張って行って、最後は ILS の電波に乗って着陸できるので、天気は悪くてもこの木更津の上を通らずに行けます。

実は関西でも同じようなチャートがあって、やっているのです。羽田のミソは、隣にもう一本着陸機があることです。こちらは A 滑走路、こちらは C 滑走路といい、34 のレフトとライトです。ライトのほうは CVA でビジュアルアプローチで、ここがミソなのですが、これはハイウェイビジュアルアプローチといって、ここは目視で入って行って、ハイウェイは海ほたるのほうですが、海ほたるを右に見ながらきちんと入って行きなさいと。そのとき横で平行着陸している着陸機もきちんと見えていますか、ということ、こちらの飛行機は要求されます。

おそらく、今羽田の北風時の同時進入の方式は、RNAV・ILS と CVA の組み合わせをハイブリッド型で使っているようです。通常は、本当に同時進入したければ、両方とも ILS で入れなければできません。しかしそれをやると木更津上空を飛んでしまうので、1 本は RNAV + ILS、1 本は CVA で、経路に柔軟性のある程度持たせつつ、同時進入も可能にするのが今の基準の中でできる最大限の日本の工夫だと思います。

#### ■AIS 情報 以前使っていた CVA

少し昔まで使っていた A 滑走路への CVA は、今はもう廃止されました。昔は、ケープと呼ばれる富津岬を見て、海ほたるを見て、風の塔という換気塔を見て着陸する。その手前は、守谷にある VOR 沿いになるべく飛んで行ってください、という CVA だったのですが、これが少し煩雑で RNAV に切り替えました。切り替えたきっかけは VOR がなくなったことでした。

RNAV の一つの目的は、地上無線施設をやめて維持管理費を抑えることでもありました。

日本の VOR も結構無くなっていて、こんなに無くなっていたのかと私も驚いたほどです。羽田近くの守谷という非常に有名な VOR も、無くなったタイミングでこの CVA もなくなったようです。もう 2、3 年前のことで、私は今でもやっていると思っていたのですが、いつの間にか無くなっていました。

#### ■ワシントンナショナル空港 ポトマックアプローチ Capabilities

ここからは海外の例、ポトマックアプローチを紹介します。ここはワシントンナショナル空港という有名な空港で、3 本の滑走路が非常に交差しています。北から入ってくるときにポトマック川沿いに飛んで騒音を避けることは、昔はビジュアルでやっていたのですが、最近では RNP AR という一番最先端の精度を持つ飛行機に対して、飛ぶべきところを、河川の曲線を見ながらではなく、そのポイントを全部細かく、STAR 型のウェイポイントをつないでいく経路になりました。

飛行機の FMS (flight management system) というシステムにポイントが全部インプッ

トされて、その通り飛行機が自動で飛んで行ってくれます。最後は滑走路を見ながら入って行きます。

#### ■Applications(1) ホノルル空港

これはホノルルの空港です。こちらに市街地があり、市街地の方向に滑走路が伸びています。今までは目視でしか市街地を通らないように着陸することはできませんでしたが、RNP だと市街地を通らずに全部計器で行けます。通常着陸経路が曲がっていると、計器視認できないはずなのですが、RNP AR だとこういう曲がった経路を引けるという図です。

#### ■Applications(2) パームスプリングス空港

今度は山岳地帯、パームスプリングスというところでは、滑走路に向かって、山の上をぐるっと通るような着陸経路は、昔は絶対に引けませんでしたが、RNP AR だと、山の上で非常に厳しいところでもこのように経路を引いて行けます。この経路を引くことのベネフィットはよく分からないのですが、離陸と競合しないから、ということかもしれません。こんな山の上の経路も、今となっては計器で引っ張ってこれる時代になったという例です。

#### ■Applications(3) シカゴ・ミッドウェー空港

これはシカゴのミッドウェー空港。アメリカの民営化パイロットプロジェクトで、ミッドウェーが最後まで残ったのに結局失敗して民営化しませんでした。

ミッドウェー空港の周辺には、シカゴのダウンタウンがあり、アメリカでも相当大きいシカゴオヘア空港があります。

離着陸経路が図には引いてあるのですが、それを避けるように計器着陸できます、という意味の文章が書かれています。このオヘアの空域の中で計器進入ができますということ。今までは ILS だったのでできなかったことが RNP AR ではできるという例です。

東京もそうですが、関西の 3 空港で飛行経路がせめぎ合うところでも、こういう次世代の離着陸経路が役立つというイメージです。

#### ■GBAS (Ground-Based Augmentation System) の特長

RNP や RNAV はしよせん、GPS 信号や機上のイナーシャル・ナビゲーション・システムで予測していますので、最後は視認進入しなければなりません。本当に天気が悪いときには、ILS のカテゴリ 2 や 3 といった、滑走路の直前まで何も見えなくても着陸できるシステムが今は必要です。その ILS を使わないで GPS 信号で着陸をやろうとしているのが GBAS と呼ばれるものです。GBAS は Ground-Based Augmentation System といいます。関西空港で実験をしているものです。

Augmentation とは補強や補正のことです。飛行機は基本的に GPS の信号だけ受けて位置を測位しているのですが、GPS 信号は誤差を持っているので、地上で観測してその誤差情報を飛行機に送ることで滑走路への着陸に必要な精度を担保します。

RNP も精度は高いのですが、GBAS ならさらに精度が上がり、タッチダウンまで持て来ることができます。しかも ILS のような地上の施設がいらないので、各滑走路に方向別に全部 ILS を付けなくても良いのです。GBAS 一つあれば、どの滑走路でも降りられます。

前回の研究会での話ですが、フランクフルト空港は滑走路端を二つ用意して後方乱気流を避け、容量を上げようというディスプレイド・スレッシュホルドのようなものも、GBASを使えば簡単にできます。ILS の場合、滑走路端を二つ用意する場合には ILS を二つ用意しなければならないので、当然コストもかかります。GBAS ならそういうことが非常に柔軟にできます。

GBAS は RNP や RNAV よりもさらに精度が高く、滑走路の直前でも曲がれてタッチダウンまで持っていくことができます。混雑空港で天気が悪いときでも、こういう経路を引こうとしたらこれが必要になってきます。

### ■GLS RWY 24L／飛行航跡例／GLS と ILS の比較

電子航法研究所の報告のスライドです。これは関西国際空港で以前実験的にやった——GLS つまり GBAS のランディングシステムです。RWY 24L というところに GBAS の着陸経路を試しに引いて、シミュレーターと JAXA の実験機、その後 JAL とか ANA の機械などでやりながら、ILS の飛行精度とどう違うかを検証しました。

関空に GBAS アプローチを試験的に行なった飛行経路を見ていただくと、黄色がたぶん普通の ILS、赤が GBAS です。右のグラフを見ていただくと、青と緑が ILS で、青がマニュアル操作、緑がオートパイロットで行なった場合です。上のグラフの縦軸は Lateral Deviation 左右の誤差、下のグラフの縦軸は Vertical Deviation 垂直誤差です。これらを見ても、ILS とほとんど遜色ありません。GPS+地上の補強信号で ILS と同等かそれ以上の精度を確保します。

以上が着陸、タッチダウンまでの次世代のシステムです。

### ■航空機監視レーダー

ここからは監視システム、いわゆるレーダーです。レーダーもこれからいなくなる時代になってきます。今空港にこういう航空監視レーダーがあります。これがくるくる回って電波を発し、帰ってくる電波の時間差で飛行機の方角と距離を測っています。これも地上無線施設と同じように、レーダーのビームがどんどん広がっていくので、遠くなればなるほど精度が落ちます。一発、レーダーのビームを打つと、広がって行くので、ビーム幅に二つの飛行機が入ると、二機あるのに一機しかいない、といったことが起き得ます。

従って、この誤差から、何マイルかあるのでレーダーを使う場合には最低 3 倍あけなさい、というレーダーの最低間隔は、レーダーの誤差からきています。

空港監視レーダーは 4 秒に 1 回しか回らないので、4 秒に 1 回しかデータが来ません。エンルート（航空路監視レーダー）は 10 秒に 1 回しか来ません。

### ■新たな地上監視レーダー：マルチラテレーション (MLAT)

空港監視レーダーだと地上の飛行機が見づらいという限界があります。ASDE と呼ばれる空港面探知レーダーもあるのですが非常に精度が悪いのです。そこで、マルチラテレーションと呼ばれる、飛行機が発しているトランスポンダ信号を複数の受信局で受信して、3 つの受信する時間差で双曲線の交点で地上面の飛行機を測位するものがあります。これも関空に入っています。羽田にも成田にも入っています。

成田ではマルチラレーションのおかげで平行同時離陸が初めて可能になりました。飛行経路を左右にずらさなくても、騒音影響を変えずに同時離陸を可能としたのがマルチラレーションの技術です。

#### ■ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast)

次世代の主力は ADS-B です。放送型自動位置情報伝送・監視機能と訳されています。飛行機は、以前から GPS や INS (イナーシャル・ナビゲーション・システム) で自分自身の位置をかなり正確に分かっています。分かっているのならその位置情報を管制機関が全部集めて、そのデータをレーダー画面に映せば、レーダーで監視しているのと同じになります。それが ADS-B による監視なのですが、ADS は要は自分の情報を勝手にブロードキャスト(放送)しているということで、その信号を集める ADS-B 地上局を日本全国に多数配置して、それを集めてレーダー画面で使いましょうというのがこのシステムです。

そうすると今までのレーダーよりもはるかに精度が高く、しかもレーダーの覆域に入らないような、山の陰になるようなところもない、従って地上無線施設もいらないということで、将来これがレーダーにとって代わるシステムになろうとしています。

#### ■ADS-B out

「out」は放送する側のことです。これは今でも比較的多く、この信号を世界中のボランティアやマニアが集めてウェブに上げているのがフライトレーダーやフライトアウェアという、一般の人が見られる飛行のリアルタイムの軌跡データの信号です。安価なアンテナとパソコンさえあれば誰でも信号を受信できます。

#### ■ADS-B in / ASAS

さらにその先が自動追従に代わってきて、ADS-B の in というのがあります。周りの飛行機が発信している自分の位置を、周りの飛行機も受信します。そうすると、この飛行機のパイロットは周りに飛んでいる飛行機の位置がかなり正確に分かります。自分の位置も当然分かる。パイロットは管制のレーダー画面を見られません。見られないから管制の指示に従って交通流が整備されています。

ADS-B in は、周りの情報を受信できる装置です。これはまだそんなに入っていません。これができると、周りの飛行機の位置が正確に分かるので、例えば「この飛行機に3マイルでひたすら付いていきます」ということができるようになります。技術的にはもうできているものです。

このようなシステムをASAS (エーサス: Airborne Separation Assistance System) といいます。四方八方からの飛行機が自動的に順序付けされて、勝手に一列になって入っていくという時代がもうそこまで来ています。

#### ■地上・機上での状況認識能力の向上

こうして周りの状況がよく分かるので、地上でも機上でも状況認識能力が上がって安全性も高まります。

## ■ASASの段階と機体間隔保持の責任

自動車の自動運転でいうとレベル1、2、3、4というのがあり、人間から段々と機械に自動車の運転を移譲していくという仕分けになっています。

そんなイメージで、ASASについても、(1)パイロットの状況認識能力の向上だけにするか、(2)管制官の指示の間隔をパイロットが保持するか、(3)限定的な自律間隔保持と責任をパイロットに移譲するか、(4)完全に責任を管制官からパイロットに移譲する、とこんなふうに段階が分かれています。

## ■気象予測の高度化

交通流管理をしていくときに、各飛行機の軌道を予測するときの最大の不確実性はやはり気象予測です。今は、気象庁が衛星やレーダーで観測しているものと、コンピュータで予測した予報を使って最適な経路をエアラインが引いて、上空の、例えば向かい風の強さを予報して、今回はこのくらいになる、というのを管制機関に伝えます。気象予報情報に誤差があれば当然、到着時刻にも誤差が生じます。

最近では、飛行機一機一機が通ったところの気象情報を観測できるので、その情報を気象庁にフィードバックして、予測制度を上げていこうとしています。より飛行機をリアルタイムで測った、しかも細かいメッシュで即時的な情報をフィードバックできるわけです。

機上における気象予報情報の活用、というのは、予測精度を上げたものを今度また、飛んでいる飛行機に対してもリアルタイムでデータリンクで上げていこうというものです。

## ■後方乱気流関連の取り組み

後方乱気流カテゴリが今まで、ヘビー、ミディアム、スモールだったのを、最近ではリージョナルジェットや787というやや中途半端な飛行機が出てきたので、3区分ではなく、6区分に細分化(RECAT)して、より効率性・安全性を高めていこうということになりました。

滑走路容量に関しては、2本の平行滑走路があったときに、隣の滑走路から離陸する飛行機の乱気流が横風で流れるのなら次の飛行機の出発は短くて良いと、そういう風の風向・風速をみながら後方乱気流の影響をリアルタイムに予測・分析して、動的に管制間隔を変え、離陸容量を上げようという取り組みが、この近接平行滑走路(CSPRs)での横風を活用した離着陸間隔短縮(WIDAO)です。こういったことも、随分前から実験的に行われています。

## ■通信：データリンク

今は管制官がVHFの音声通信で経路や速度を指示しているのですが、聞き間違いが生じるし、パイロットもきちんと分かっているかどうかリードバックしなければならないので、時間がかかってワークロードもかかります。データリンクというのは、情報をメールのように文字情報にして送って終わらせるものです。

現在で行なっているのは、周波数移管指示や、航空機識別コード変更など非常に簡単なものです。周波数移管指示とは、セクターを移動するときに、次はこの管制官の周波数に合わせてくださいという指示のことです。今はそういう定型的な指示だけデータリンクで行なっているようです。

右へ行け、左へ行け、高度何フィート、といったリスポンズで非常に時間がタイトな指示は、いちいちメールで打つなどデータリンクでやっているとおそらく逆に容量が減ってしまうので、そういうものはまだ長期的な将来の課題になっています。

データリンクが本当に能力を発揮するのは、最適な四次元軌道をリアルタイムで逐一計算して「何時何分にこういう経路を飛びなさい」という内容を、文字情報の最も得意なところですが、そういう複雑な経路を言葉ではなく文字情報で送って、そのまま FMS（フライト・マネジメント・システム）にダウンロードできることです。そういう時にデータリンクがないと、軌道を変えていくことが難しいのです。そういうところで最も利用が期待されているわけですが、そうなってくると、通信のキャパシティがなくなってきて、今の ACARS やその他の通信のキャパシティでは足りなくなってきました。さらに、通信にはお金がかかるので、そのお金は誰が負担するのか、といった問題が起きます。確かにそんなにお金がかかるのなら厳しいなあという気もしますが、現実的にはそういった色々な問題があります。しかし最終的には欠かせない技術だと思います。

#### ■情報共有と協調的意思決定

今バラバラの情報で意思決定したものを、みな同じ情報をもって協力しながら全体を統一的に管理しましょうということを目指しているのが、この協調的意思決定です。SWIM という、一元的に情報を管理する監視システムを今つくっています。

#### ■国内空域再編(航空路における容量拡大策)

日本全体の話で、空域の概念をなくすと述べましたが、空域の概念がなくなることはしばらくはないと思います。この研究会の初期の頃に、私はニューヨークの空域再編の話をしたと思います。日本の空域は特に細分化され過ぎて、羽田のようなターミナル空域は逆にどんどん狭まっています。ニューヨークはターミナル空域をなるべく大きくして効率化しているのに、なぜ逆のことをしているのか、そんな話をしました。

最近日本も空域の大再編に動いており、航空の管制 4 つ、那覇、福岡、東京、札幌に 4 分割したのを左右に統合して、最終的には 3 つの管制、高度の低いところは東西の二つに分けて上空を一つにします。上下分離をして上空を一つ、東日本西日本で二つに分ける。こういうことを今考えて進んでいるようです。2024 年にできるので、もう決まっていると思います。

今の説明は、上空の巡航高度をやる航空路管理についてですが、さらにターミナル空域の拡大・統合に動いているようです。私はこちらの方が重要だと思います。交通量が増えてきて、今の関東空域の再編は、羽田のために最適化した形状なのですが、今さらに容量を増やそうとしているので、空域の形状と運用が今ではたぶんもちません。したがって、首都圏空域のさらに大きく広げる必要があります。

実は関西も広域管制で、関西が今世界標準だと思います。関西は高知、高松あたりも入っています。驚くのは、北日本です。仙台、新潟から北海道まで全部まとめて北日本ターミナルレーダー拡大としようとしています。

北日本ターミナルレーダーができるのだったら、関西も西日本も全部ターミナルレーダーで良いのではという気がします。将来的には本当にそれくらい考えられるかもしれませ

んし、おそらく長期的にはもうターミナルやエンルートなどの概念は無くなっていくはず  
です。レーダーが無くなるのです。全部 ADS-B になれば、場所による精度の差が無くなる  
ので、空域がだんだん一つになっていく途中過程で、今まさにこういうふう動いていま  
す。

#### ■航空交通システムの将来計画：まとめ

基本的には軌道ベースという時間管理を高度化しようというところと、もう一つは航空  
機の性能を最大に活用しようというもの、特に GNSS や ADS-B、さらに航空機が勝手に間隔  
設定する ASAS を紹介しました。

今までの管制は、低い性能の方に合わせていましたが、飛行機の性能を最大限活用しよ  
うという方向性になってきています。

そして協調的意思決定ができるネットワークを紹介しました。

大きく分けるとこの3つのことについて今日は紹介しました。これで今日の私からの情  
報提供は終了します。ありがとうございました。

〔質疑応答〕

○ 従来より航空路を示す精度は上がってくるとは思うのですが、それを本当に正しく飛べるのかという問題も一方であると思います。

RNAV から RNP に切り替わるというお話もありました。どこまで自動、あるいは手動となるのか。どのくらい正確に飛べるのでしょうか。

→ 本当に正確なところは、私自身もむしろ聞きたいくらいなのですが、私の知っている限りでお話します。RNAV を飛ぶための要件は決まっています。資料の「性能準拠型運用」にあるように、“飛べる保証があるものだけ、この経路を飛べる” ことになっています。その「飛べる」確率が 95% で、RNAV1 と呼ばれるものなら、片側の幅 1 マイルでトータル 2 マイル、引いた経路から 1 マイルのズレの範囲内で飛べる確率が 95% が機器として保証されている、そういう機材を搭載していることが事前に証明されているものだけが飛べます。

これが形式上の答えではありますが、実際にどうなのか詳しくは分かりかねます。5% の逸脱というのは、結構な確率に感じられます。100 回中 5 回は逸脱するわけですから。正確には「飛行時間の 5%」らしいですが、そのあたりの安全をどう確保しているのかは分かりません。

RNAV と RNP の違いについて。RNP は、自分自身が 95% で飛べる性能を、現時点で持っていることがモニターできている、しかもそれができないときには機械が「今できません」と、きちんと自分で分かって、パイロットに教えることができる機能を有するものです。RNAV はその機能がありません。RNP の場合、バックアップとして、レーダーで管制官が実は見ているのです。もし RNAV 経路の経路幅から 5% 逸脱している場合には、管制官が「危ないから戻るように」と指示するか、もしそこに平行進入の競合機がいるとしたら、着陸をあきらめて反対側に行こうとするようにと指示します。従来型のレーダー監視で安全を確保しているというのが、私の RNAV についての理解です。「レーダー監視空域外でも飛行可能な方式」、つまりレーダー監視官がいなくてもできるのが RNP です。

「本当に飛べるのか」という疑問に対して私が答えられるのはこれくらいです。飛べるが逸脱する確率はある、そのときのバックアップもある、といったところです。RNP AR ができる機材は日本ではまだそんなに多くないようです。

○資料で RNAV+ILS であれば、天候が悪い場合でも可能であると。CVA は目視ができないので悪天候では NG。しかし、この二つを組み合わせることで同時平行着陸ができるとご説明いただきました。CVA が使えない場合はまた別で着陸方式が設定されており、悪天候でも別の形で同時進入ができるのでしょうか。それとも、悪天候の場合は ILS の方もうまく活用できないということになるのでしょうか。

→鋭いご質問です。私自身も話しながら矛盾していると気付いていました。その通りなのです。RNAV+ILS は確かに最低気象条件が緩和されて、悪天候でもできるようになりました。しかし、こちら CVA は依然としてビジュアルアプローチなので、目視できないと

いけません。同時進入のためには CVA が必須なので、CVA の気象条件に引っ張られます。そのため、同時進入できる気象条件は両方とも CVA だった時代と変わっていないのです。

羽田の、悪天候でも騒音影響を避けながら同時進入ができる率はおそらくほとんど変わっていないと思います。先ほどはメリットであるとして、正しくないことを言いましたが、ご指摘ありがとうございます。

CVA を一つやるにも、非常に多くのコミュニケーションが必要になり、精度も低い。従ってコミュニケーションのワークロードが減りました。そもそも羽田の気象条件を見ると、CVA ができる気象条件がかなり多いです。CARATS オープンデータという軌跡データを活用したデータを見ても、ほとんどがこの経路で飛んでいます。本当に天気が悪いときは ILS・ILS で従来型で 2 本真っ直ぐ引いてある経路が出てくるはずなのですが、ほとんどこの気象条件で可能な状態です。管制のワークロードも下がっているので、現状を考えるとほとんどこれでできています。

本当は、34R の方も RNAV+ILS でやりたいところですが、2 本平行となると、まだ安全性の検証などが必要で、国際機関で検証が進んでいる最中です。電子航法研究所でもいろいろ検討されていますが、例えば、RNAV+ILS・ILS で同時進入ができます、といったような基準がそもそもありません。ないので、このようなハイブリッドでやるしかないわけです。こちらを RNAV にしたいけれども、こちらは CVA でやらないと同時進入できないということです。

同時進入で難しいのは、気象条件の悪いとき、見えていないのに隣で飛んでいても良いということです。その時には、通常、両滑走路とも ILS だと真ん中に不可侵空域という空域を設け、そこを一人の管制官が専任でずっとモニターして、少しでも隣の飛行機が入って来ると、すぐに 2 機ともブレイクさせる、ということを条件に同時進入を許可する基準が昔からあります。それと似たような基準を RNAV+ILS と ILS や RNAV+ILS と RNAVなどで、将来できてくると思います。

大阪は東京よりも気象条件は良いのか分かりませんが、例えば関空で北側から同時平行着陸は厳しいと思います。1 本は湾内を飛んで、A 滑走路は大阪上空から入れる。一方は CVA で、もう一方を RNAV+ILS で飛ぶといったようなことをすると、実はほとんどの気象条件で同時進入ができます。

2 本とも曲がって RNAV+ILS と RNAV+ILS というのは、おそらくハードルが高く、短期的にはできないだろうと思います。2 本とも RNP AR で持ってきて ILS にしていくというのはまだ難しいかもしれません。両方とも GBAS で持ってくることになると思います。RNAV と ILS という、全く別物があたかもスムーズにくっついているように見えますが、実は方式としては分離されているようです。

答えになっているかは分かりませんが、ご懸念の点はその通りですし、この考え方を短期的には積極的に活用する意義はあると思います。

○RNP AR を利用したアプローチの進入経路が羽田で引かれているというお話でした。アプローチについてはいろいろとご説明いただいたのですが、出発の方では RNP AR をした経路が実際に引かれていることがあるのでしょうか。伊丹空港の北側に山があるので基本的には左旋回して上昇するという経路になるのですが、もしこれを活用できれば、例

例えば直線に離陸するとか、もしくは右旋回するなどの経路も可能性としてあるのかなと思いました。

→ 私の知る限りでは、RNP の離陸経路は日本では無いと思います。RNP AR は「RNP AR Approach」と必ず付いているので、基本はアプローチです。資料の RNP APCH v.s. RNP AR APCH の表に書いている以上の情報を私は持っていません。RNP AR の離陸経路というのは聞いたことがありません。聞いたことがあるのは、RNAV の離陸経路です。羽田も確か、荒川上空を通る経路を RNAV で引いてくる経路がありましたし、実際に今もあると思います。

RNAV の精度は RNP よりは落ちる、だから、伊丹の北の山がかわせるかどうかは分かりません。そういうことができる機材もいると思います。しかし、結局、同じナビゲーションシステムなので、当然離陸も同じ概念で考えられると思います。機材によって離着陸経路を変えるのは、離陸は逆にやりやすいのです。今行われている研究は、着陸に対して RNP AR を使うと良いのですが、RNP AR ができる機材がまばらで、RNP ができる機材があったり、RNAV しかできなかつたり、昔のコンベンショナルしかできなかつたりが混在していると難しいのです。

着陸は手前に複数の性能のものを混在した状態で行うのはかなり難しいですが、離陸はやりやすいと思います。私の理解では、伊丹のようなタイトな所では、全部の機材を右旋回したりする経路で飛んで行くのはおそらく無理だと思いますが、旋回しやすい小型の飛行機や、性能の良い航法機器を積んでいる飛行機なら優先的に短縮経路で行けますよ、といったインセンティブを与えることはできる可能性はあると思います。山地などの障害物の関係は正確に分かりませんし、あまりに騒音がやかましくなるなら物理的に無理ですが検討する可能性はあるでしょう。

○航空援助施設利用料といったものは、高度なシステムが装備されている空港を通る航空機には高くなったり、あるいはそうでない空港では安くなったりと、料金に反映されているのでしょうか。

→ そういう事例は聞いたことがないし、むしろやっているのは逆だと思います。管制組織としては最新のオンボード機材を早く積んでもらいたいのです。しかしエアラインはお金がかかるので、何かメリットがないと積みません。RNP AR で経路が短縮されると燃料が削減できますが、それに見合うベネフィットがあるかという点、そうでもない。さらに航空援助施設利用料まで上がったらたまったものではありません。

むしろ逆で、前回の滑走路の運用でも触れましたが、普通はファーストカムファーストサーブ、要は先に来たものを先に処理するという考え方のなかで、新しい機器の普及を促すためのインセンティブとして、ベスト・イクイPMENT・ベスト・サーブ (BEBS) というのがあります。良い機材を積んだ飛行機は、混んでいても、後から来ても優先的に着陸させるというものです。このように新しい機器の導入を促進しようとしている事例があるくらいなので、むしろそういうインセンティブの観念からいくと、航空援助施

設利用料を上げるというのは逆の方向になります。

ただ、空港全体の話なので、エアライン個別の話ではなくて、そういうところに入るのなら、その投資を回収するために、航空援助施設利用料を上げるというのは、普通の考え方のような気がします。しかし、それが機器の導入のディスインセンティブになるようなら、それはそれで困ったことになります。

実際にそれで航空援助施設利用料を上げているところは聞いたことがないし、アメリカではむしろインセンティブを与えるを与えないではなくて、ADS-B は装着義務化をしています。日本ではなかなかできませんが、そういう強制的なところがあります。

○航空援助施設は公共財のような性格があって、高度な機材を積んでいる飛行機とそうでない飛行機とが混在していると、効率的な運用にはつながらないと思うのです。そうなると、航空援助施設利用料を一律に取るという話に結びついていくのかなと思いました。

ただ、お金を払った飛行機ほどそれに見合う便益を受け取るには、やはり価格インセンティブのようなものを航空援助施設利用料に導入するようなこともあるのかなと思いました。

→ 逆に航空援助施設利用料を割り引くということですね、騒音の低い飛行機なら着陸料を下げるということは、実際によくやられています。

先ほどのデータリンクの通信料もそうです。あれも誰が負担するのかというところが問題です。今の飛行機は通信料を払っていません。管制官がマイクで話したものをただ飛行機で聞いているだけで、それにお金はかかっているかと思っています。それがデータリンクになったら急に通信代を全部航空会社が払わなければいけなくなる。それは困るという声が非常に大きいのです。これも料金負担の問題なので、そのあたりも一緒に考えていただけるとありがたいです。

○通信料はそんなにもかかるものですか？

→私も正確には分からないのですが、あれほど皆さん言われるので結構な額なのかと思っています。よく分かりませんが、無視できない額だと思います。

○道路であれば、公安委員会が、信号の制御とか、そういうことを変える決定権を持っています。信号の制御をうまくすれば、道路を1本あるいはレーン1本増やすくらいの効果はすぐ出てくると思います。

空港の管制についても、ソフト的にうまくやっていると、全部助かるのではないかという気がしています。

安全性の向上が目標だということで、「5倍向上」と書いてあるのですが、2倍とか3倍とか、何かの基準があるのでしょうか。何をもって5倍としているのでしょうか。

→正確には思い出せないのですが、根拠はあったんです。交通量が2倍になり、インシ

デントの発生確率が交通量の二乗でかいてきます。そういうことを前提に今の事故件数を削減するとか、そういうことで決めていたと思います。

○100万回に1回事故っているのが、500万回に1回になるということですね。

もう1点です。機材によって、一番悩ましいのは、船でも同じなのですが、いろんなものがあるわけです。遅いものや大きいものや小さいもの、今日も話をうかがっていると、性能のよいものや非常に古いもの、そういうものがある。混合交通というのが一番問題だという気がしました。

思いつきですが、最新の装備を持ったよい機材は、いい時間帯を使えるとか、そういう航空会社に対するプレッシャーといいますか、インセンティブを与えることについて研究されている方はいらっしゃるのでしょうか。

→ よくあるのはコンジェスチョン・プライシングのように、ピーク時間帯の着陸料を上げて、価格負担力のある航空会社にしばって、混雑を緩和し、そのお金をサービスに回そうということに近いと思います。

でも、一方でそういう新しい機材を各社が買えば、混合交通ではなくなって、安全性も上がり、容量も上がりやすい。そういうメリットもあるので、そういう考え方はあり得ると思います。

混雑時間帯に容量が上がるということは、ユーザーにとってももちろん良いし、新しい飛行機を買うためにお金がかかるので、運賃が上がるかもしれませんが、もともと良い時間帯だから支払い能力が高い人が乗っているとすれば、運賃が上がっても良い。かつ技術的に容量も上がるという意味では、そこはうまくできそうな気がします。

○アメリカの大きな空港で、自家用機などを排除しているのはそういう理由だと思います。

→そういえば羽田もやっていますね。小さい飛行機の乗り入れを禁止しているというのは、遅いプロペラ機が入ってくると、それが滑走路を占有してしまうと、羽田の容量を下げてもったいないので入ってはいけないことになっています。

以 上

## 次世代の航空交通システムと空港運用への影響

平田 輝満

茨城大学工学部都市システム工学科  
terumitsu.hirata.a@vc.ibaraki.ac.jp



### 研究会の予定

第1回 「首都圏空港の容量拡大に向けた取り組みと課題」2015.11.27

第2回 「混雑空港における騒音対策」2016.3.4

第3回 「滑走路処理容量の考え方と容量拡大方策の事例」2016.10.14

第4回 「次世代の航空交通システムと空港運用への影響」2016.12.2

第5回 「関西圏空港・空域の運用課題と運用オプション」

## 道路と比較して航空は・・・

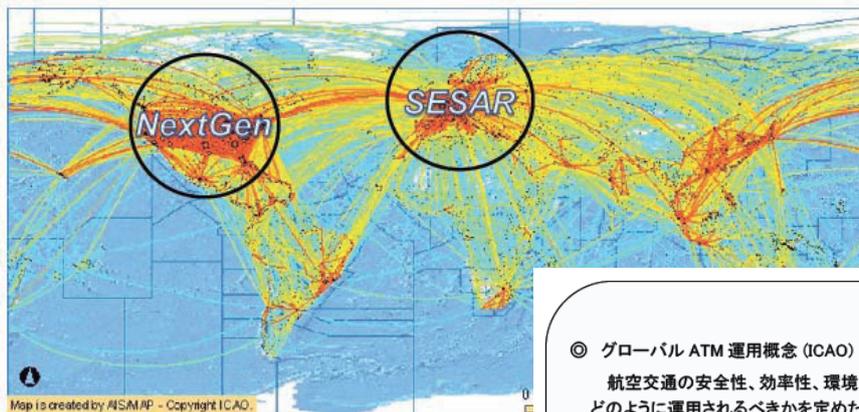
	道路交通システム	航空交通システム
移動空間	地上・地下(道路面)を走る →2次元空間の移動, 止まれる	空を飛ぶ →3次元空間の移動, 速度が速い, 止まらない
視認性	周りが見えることが大半(死角はあるが) →目視で運転	周りが見えないことが普通(雲の中など) →目視で操縦できない, 地上無線施設などを利用して飛ぶ
天候の影響	気象の影響は比較的小さい →走行方法は天候に因らず同じ	気象(特に風と視程)の影響を受けやすい →離着陸の向きや方法, 飛行時間(対地速度)が変わる
移動の自由度	多数の自動車が自由に走っても比較的安全 →個々のドライバーが自由に走行(自律分散型システム)	多数の飛行機が自由に飛ぶと危ない →航空管制官の指示に従って飛ぶ(中央集権型システム) →交通流制御はやりやすい
監視能力	管制センターではリンク交通量や速度+・・・? プローブデータでは現在位置・旅行時間等・・・?	管制官は, ほぼ全ての飛行機の現在位置・動態情報が分かる
運転技能	運転者は皆免許は持っているが, 運転技能はまちまち	操縦者は皆プロで数も限られる
自動運転	自動運転はこれから	既に, ほぼ自動操縦(オートパイロット)が可能. 間隔制御はまだ.
責任	車間距離は運転者責任	飛行機間の間隔設定は管制官の責任

3

## 航空の将来は・・・

	航空交通システム(現在)	航空交通システム(将来)
移動空間	空を飛ぶ →3次元空間の移動, 速度が速い, 止まらない	止まれる?(今でもヘリやオスプレイは空中で止まれる:ホバリング)
視認性	周りが見えないことが普通(雲の中など) →目視で操縦できない, 地上無線施設などを利用して飛ぶ	飛行機相互間通信により, 疑似的に周囲が見えるようになる →目視と同じ状況で飛行が可能に?
天候の影響	気象(特に風と視程)の影響を受けやすい →離着陸の向きや方法, 飛行時間(対地速度)が変わる	飛行機の性能向上で変化?
移動の自由度	多数の飛行機が自由に飛ぶと危ない →航空管制官の指示に従って飛ぶ(中央集権型システム) →交通流制御はやりやすい	飛行機の能力を最大活用した自律分散型システムへ移行 究極はフリーフライト
監視能力	管制官は, ほぼ全ての飛行機の現在位置・動態情報が分かる	飛行機の将来位置を精度高く予測(コンフリクトフリーな軌道生成と遵守)
運転技能	操縦者は皆プロで数も限られる	?
自動運転	既に, ほぼ自動操縦(オートパイロット)が可能. 間隔制御はまだ.	間隔制御・自動追従も可能に
責任	飛行機間の間隔設定は管制官の責任	間隔の自動制御により責任もパイロットへ移譲

# 世界の動向



将来の航空交通システムに係る長期計

◎ グローバル ATM 運用概念 (ICAO) :

航空交通の安全性、効率性、環境問題への対応等の目標を達成するため、将来の ATM がどのように運用されるべきかを定めたビジョン。運航者の求める飛行軌道を最大限満足するため、全飛行フェーズにおいて飛行軌道の管理等を行っていく方向性が示されている。

○ NextGen (Next Generation Air Transportation System) :



航空交通需要、環境問題等への対応だけでなく、テロ等の脅威に対応する国家安全保障やグローバルスタンダード化の推進等のリーダーシップの確保という米国特有の目的を包含し、国の機関の共同組織により国家的プロジェクトとして推進されている 2025 年を目指した次世代の航空交通システムに関する総合的なビジョン。

○ SESAR (Single European Sky ATM Research) :



多数の国や管制機関が存在する欧州において、単一の空 (Single European Sky) を実現するため、均質的な航空管制サービスを提供すべく 2020 年を目指した新世代の ATM システムに関する近代化プログラム。

出典) 航空局 5

## 将来の航空交通システムに関する長期ビジョン: CARATS

Collaborative Actions for Renovation of Air Traffic Systems



2010年9月に長期ビジョン(計画年次2025年)を策定

変革の方向性:

- ①軌道ベース運用の実現(時間管理の高度化)
- ②予見能力の向上
- ③性能準拠型の運用の促進
- ④全飛行フェーズでの衛星航法の実現
- ⑤地上・機上での状況認識能力の向上
- ⑥人と機械の能力の最大活用
- ⑦情報共有と協調的意思決定の徹底
- ⑧混雑空港及び混雑空域における高密度運航の実現



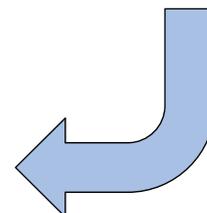
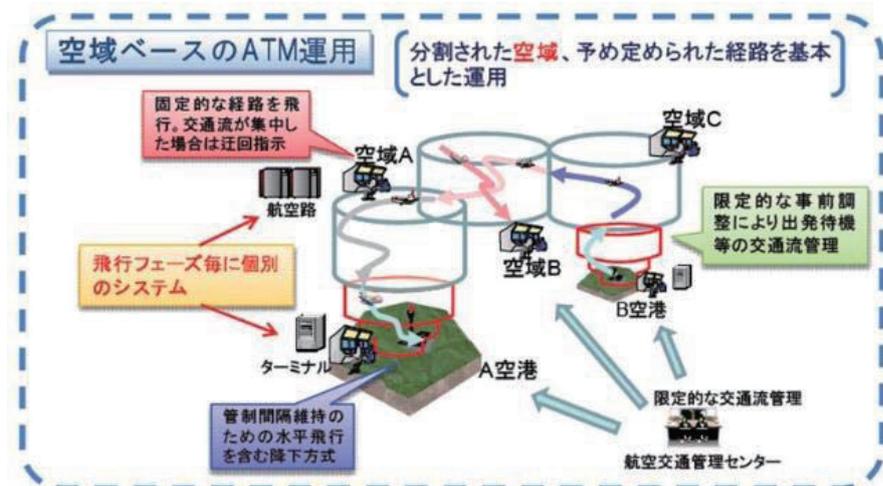
# CARATSの目指す(数値)目標

項目	数値目標
安全性の向上	安全性を5倍に向上
航空交通量増大への対応	混雑空域における管制の処理容量を2倍に向上
利便性の向上	サービスレベル(定時性、就航率及び速達性)を10%向上
運航の効率性の向上	1フライト当たりの燃料消費量を10%削減
航空保安業務の効率性の向上	航空保安業務の効率性を50%以上向上
環境への配慮	1フライト当たりのCO <sub>2</sub> 排出量を10%削減
航空分野における我が国の国際プレゼンスの向上	(国際会議の開催、国際協力の案件等で評価)

出典)航空局 7

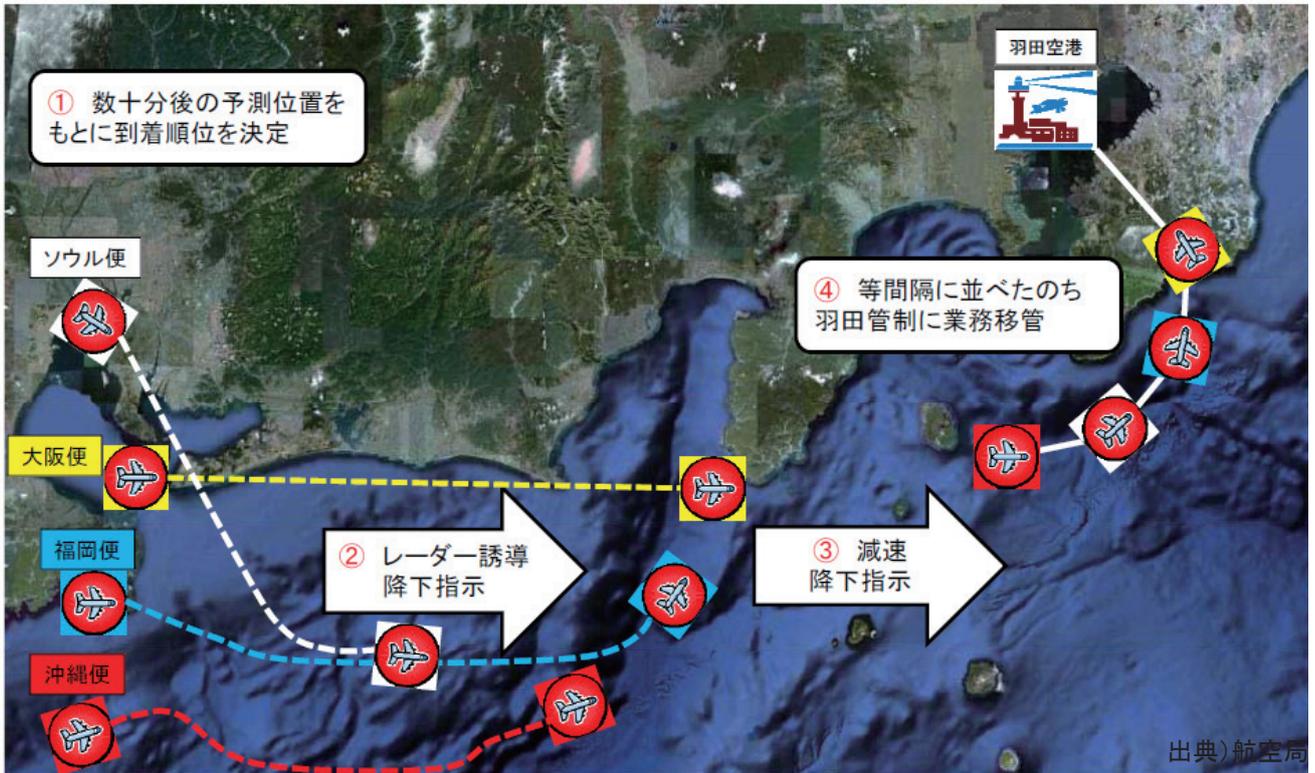
## 空域ベースから軌道ベースへ

個別空域ごとの部分最適から、高度な時間管理による空域全体の最適化へ。

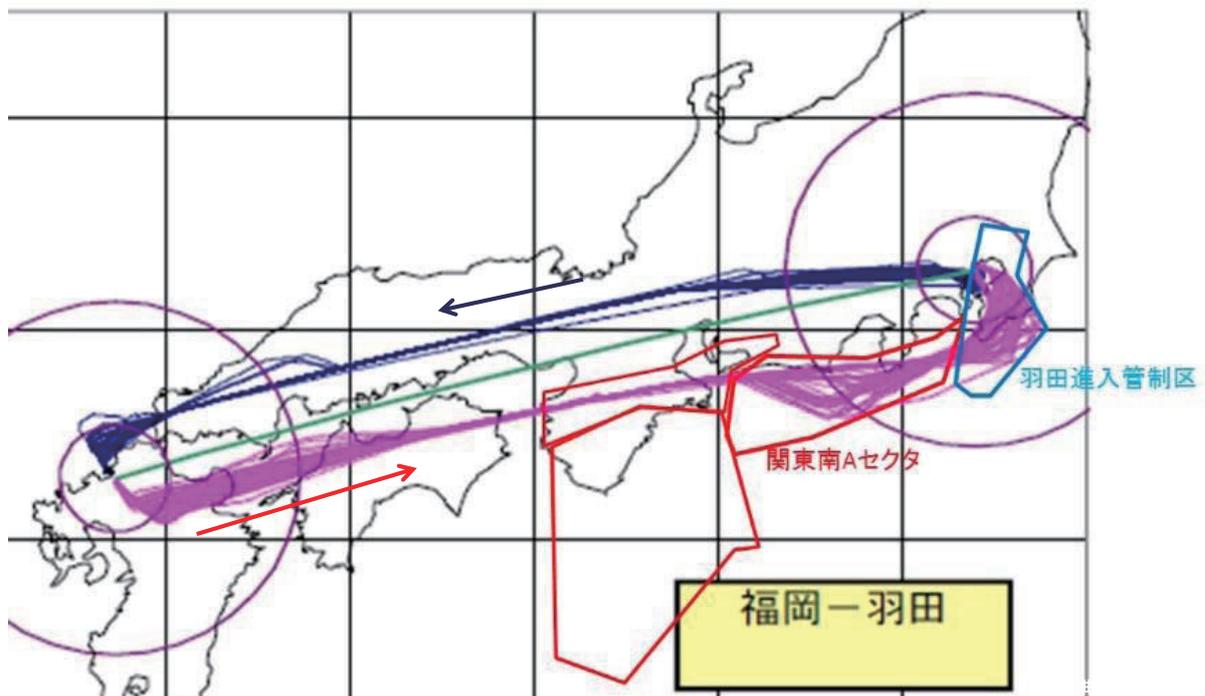


出典)航空局CARATS(2010)

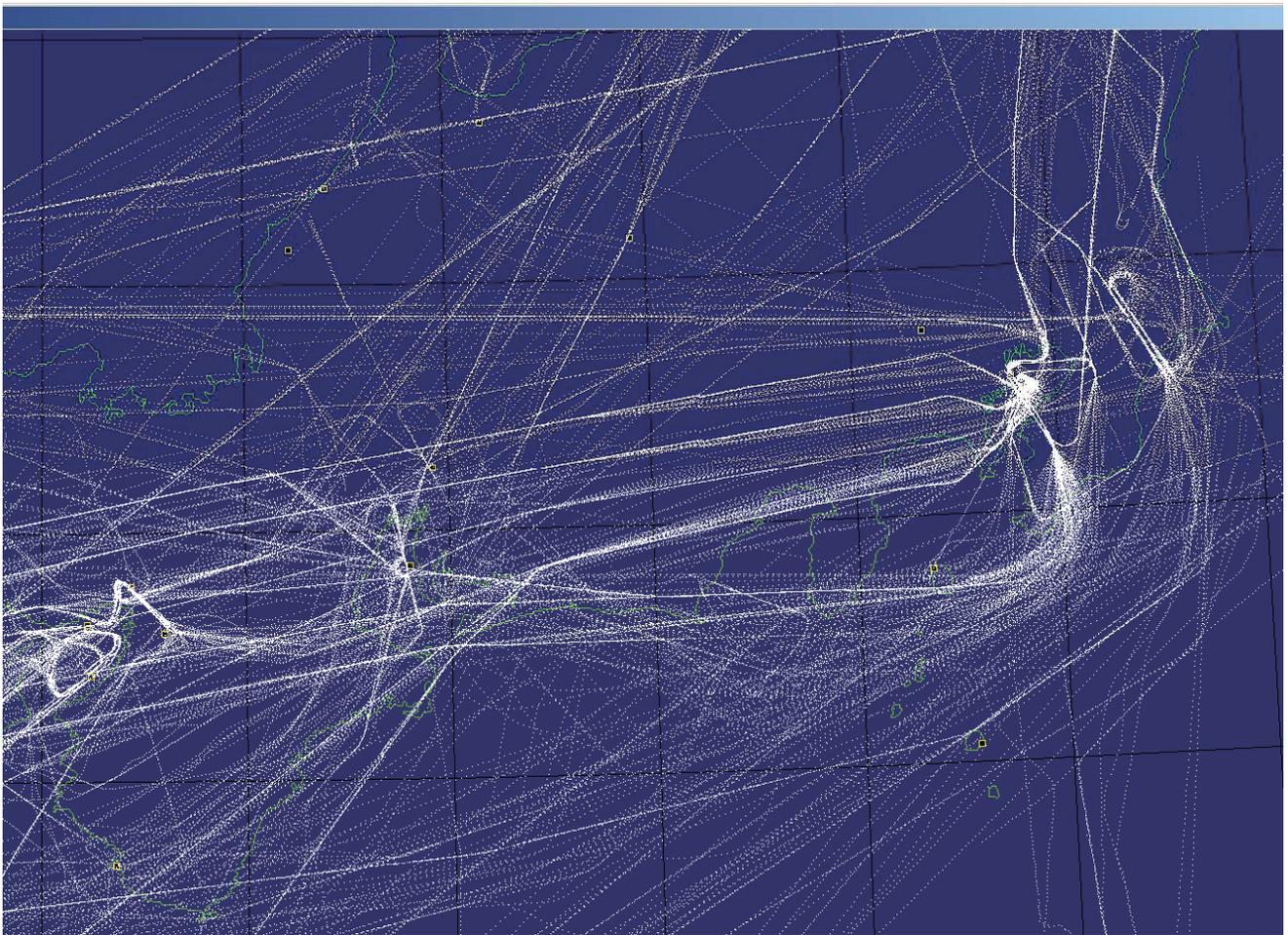
## 到着機の順位付け・整流イメージ(羽田空港行きの例)



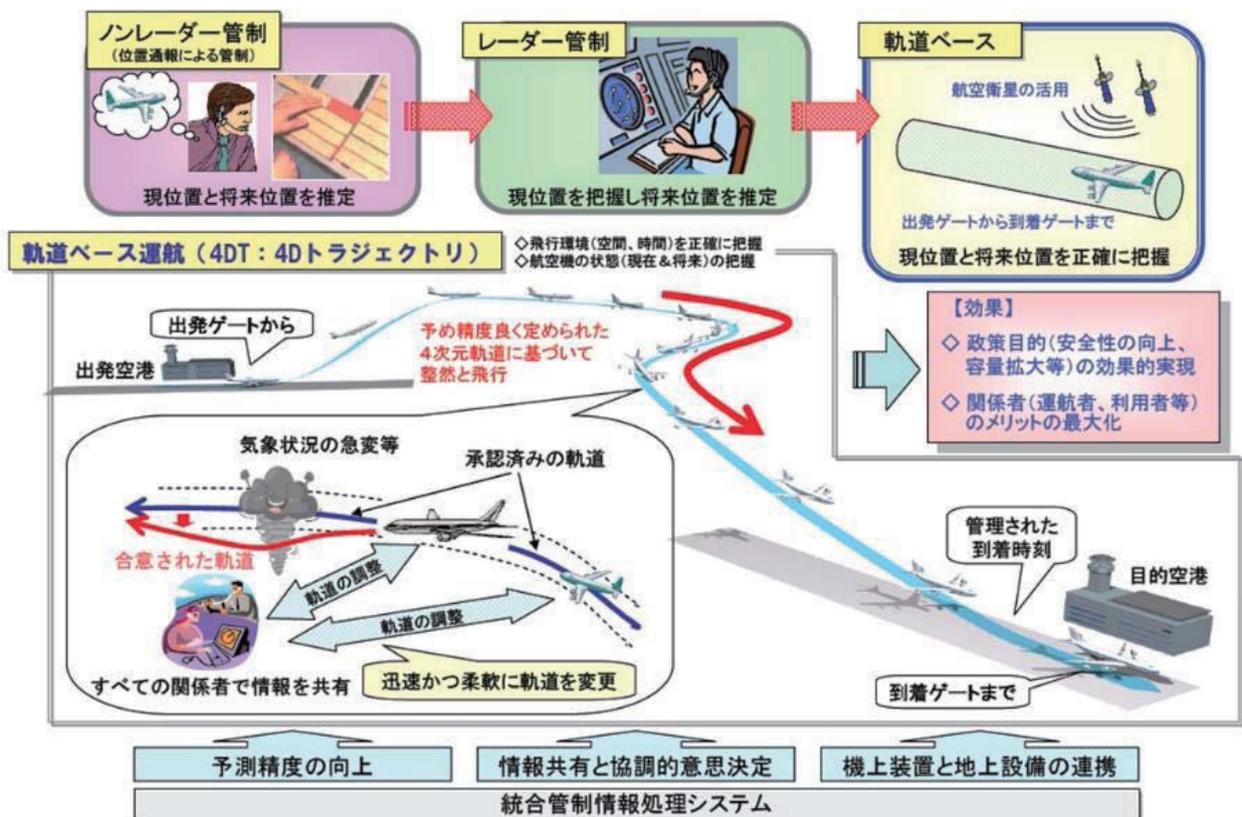
## 分割空域におけるレーダー誘導の例(福岡⇒羽田)



分割された空域ベースの管制運用により生じる非効率性  
(ターミナル空域への負荷集中, 運航効率の低下など)



## 軌道ベース運航 TBO:Trajectory-based Operation



# 到着機の合流処理の効率化方策の例: 次世代交通システム

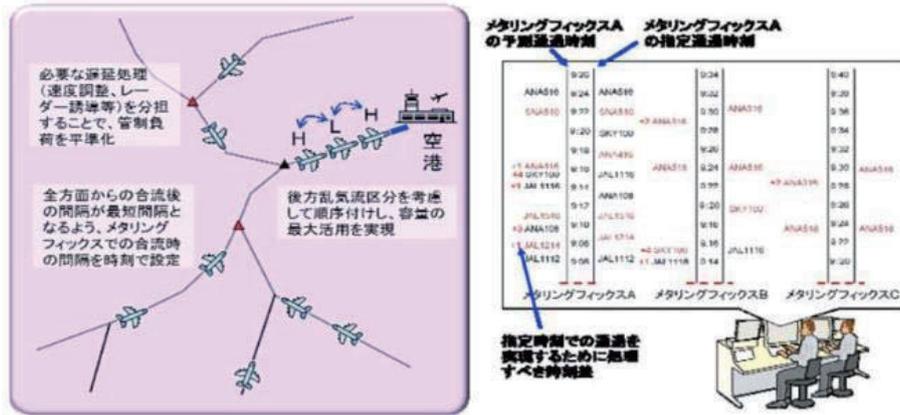
4D-Trajectory-based Operation(TBO)による時間管理による合流効率化  
 →各航空機の合流地点や途中通過点の通過時刻を飛行前, 飛行中にコントロール  
 →TBOを支える航法・通信技術, Trajectoryや交通量の予測システムの高度化が必要

## ■CARATS施策の例: 合流メタリングの高度化(時間管理の高度化, 4D-Trajectory)

### OI-19 合流地点における時刻ベースの順序付け、間隔設定(メタリング)

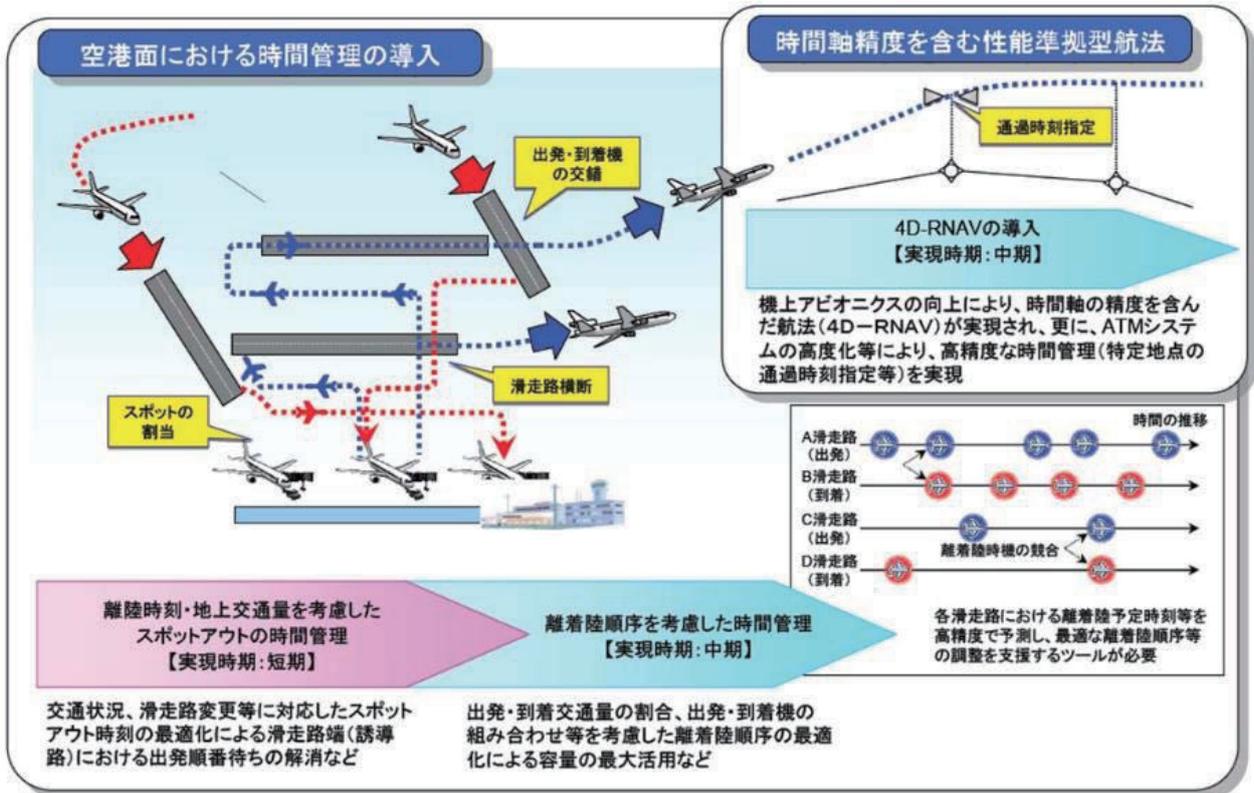
(うち時刻ベースメタリング) (EN-1 情報処理システムの高度化(時刻ベースメタリング)を含む)

メタリングフィックス(合流地点)における時刻を指定することにより、航空機間隔を設定する際の無駄なマージンを縮減し、空域・空港の処理容量の最大活用を図ります。

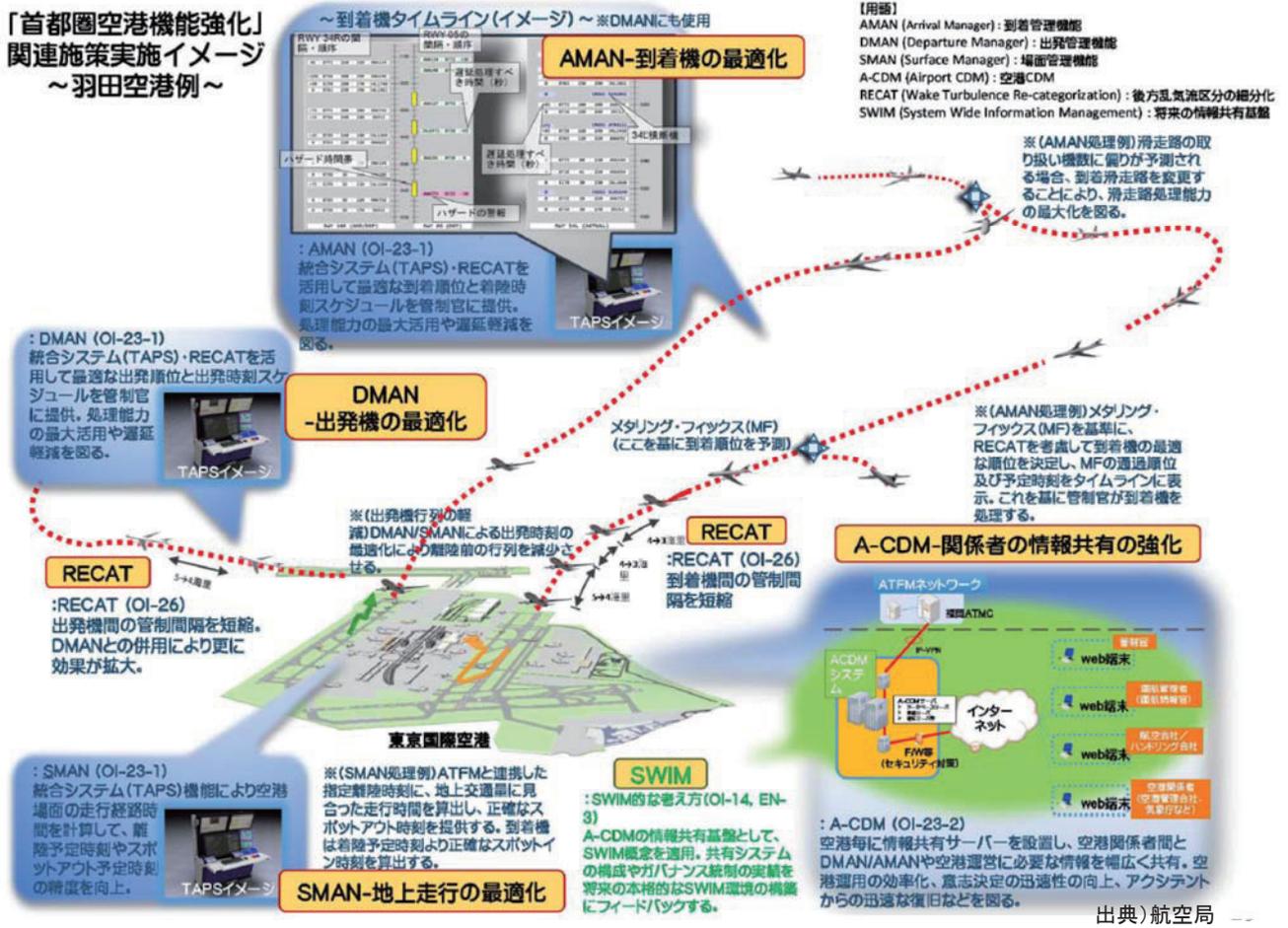


<http://www.mlit.go.jp/common/000993373.pdf>

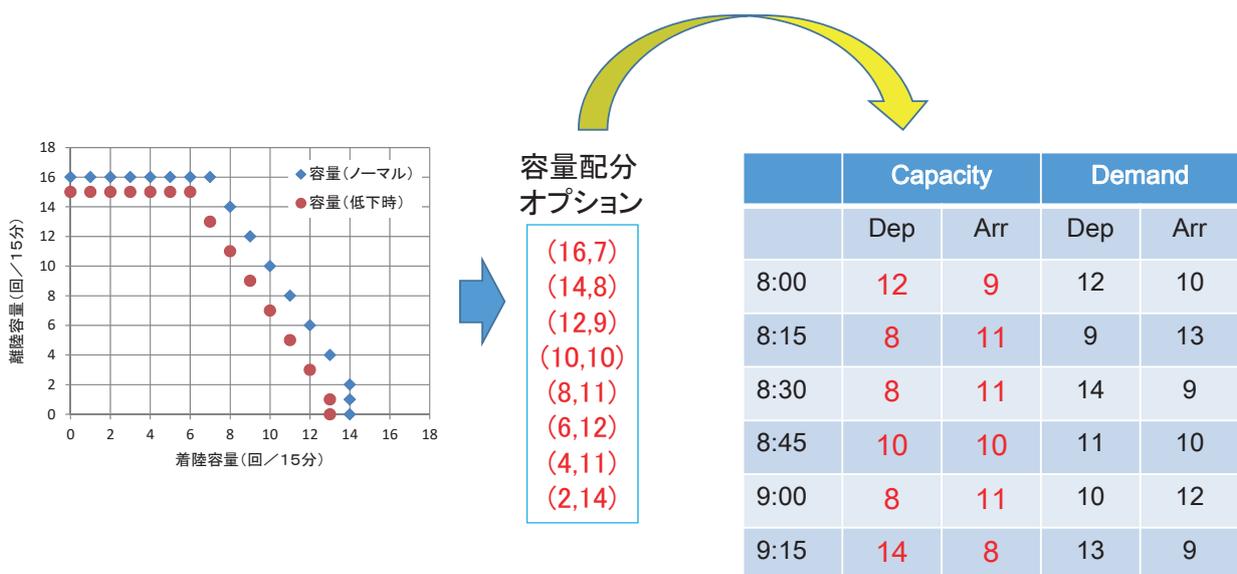
# 空港面での高精度な時間管理



「首都圏空港機能強化」  
関連施策実施イメージ  
～羽田空港例～



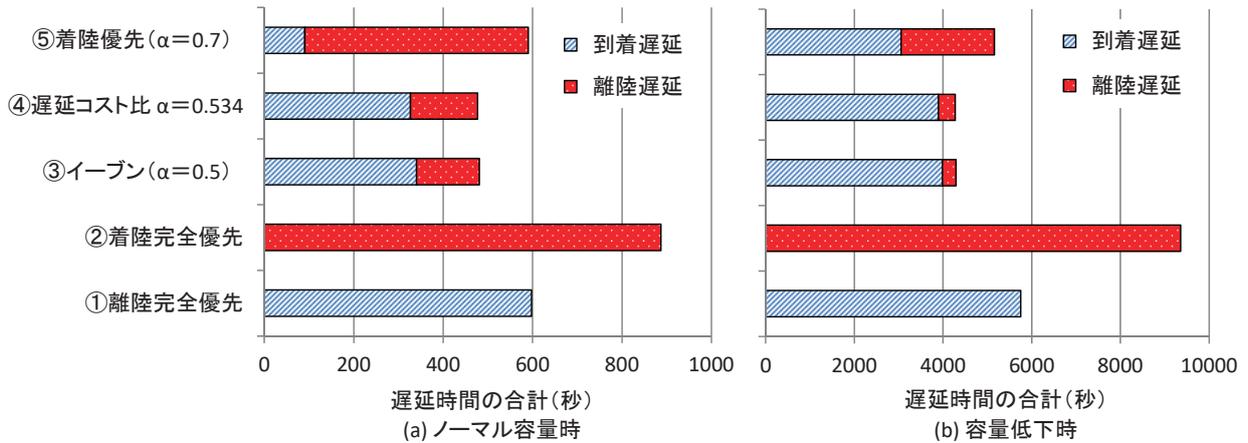
## 時間別離着陸容量配分の最適化モデル



⇒総遅延時間の最小化問題として定式化

# ケーススタディ: 計算結果

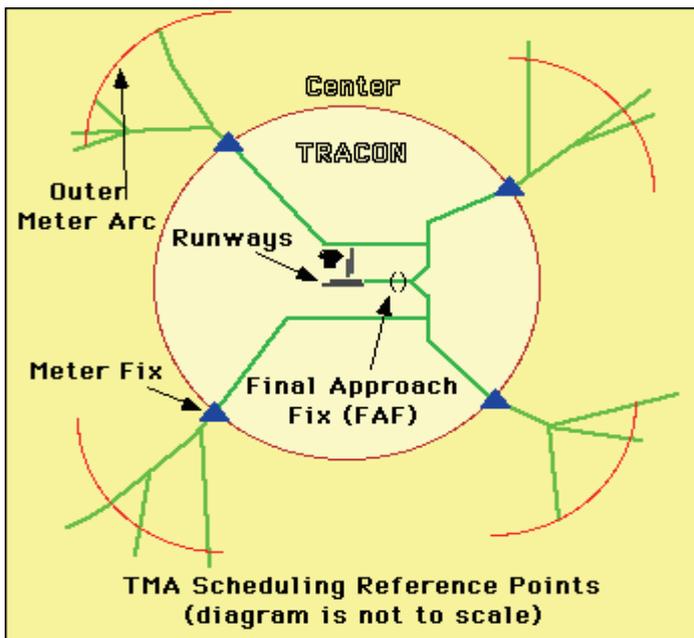
離着陸の重み付け係数別の最適容量配分時の総遅延時間



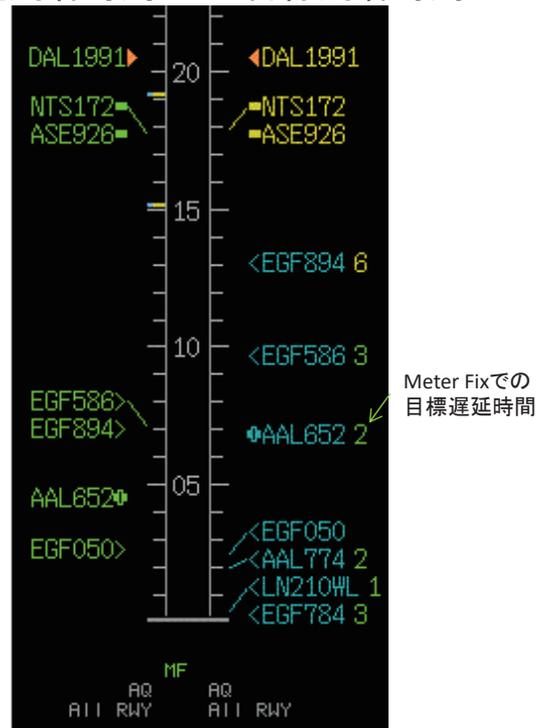
- ✓最適化により総遅延時間, 燃料消費(CO2排出)が削減可能
- ✓羽田の容量カーブ特性から基本的には離陸優先が良い
- ✓離陸・着陸の優先度パラメータの設定により遅延の内訳が変化
- ✓容量低下時にはより離陸優先度合いを強める傾向が現れる

17

## 米国: 合流支援システム(Traffic Management Advisor:TMA)



予定到着時刻      目標到着時刻



出典)

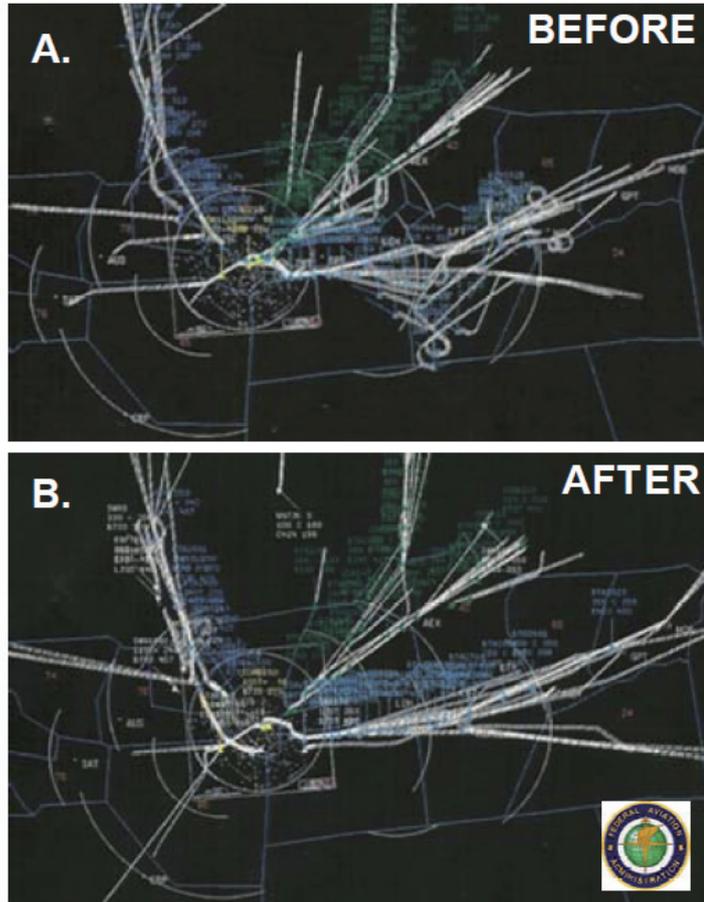
- NASA Ames Aviation Systems Division WEBPAGE, <http://www.aviationsystemsdivision.arc.nasa.gov/research/foundations/tma.shtml>
- Michael Robinson et al.: Traffic Management Advisor (TMA) – weather integration, 14th Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology, 2010.

# TMAの効果例

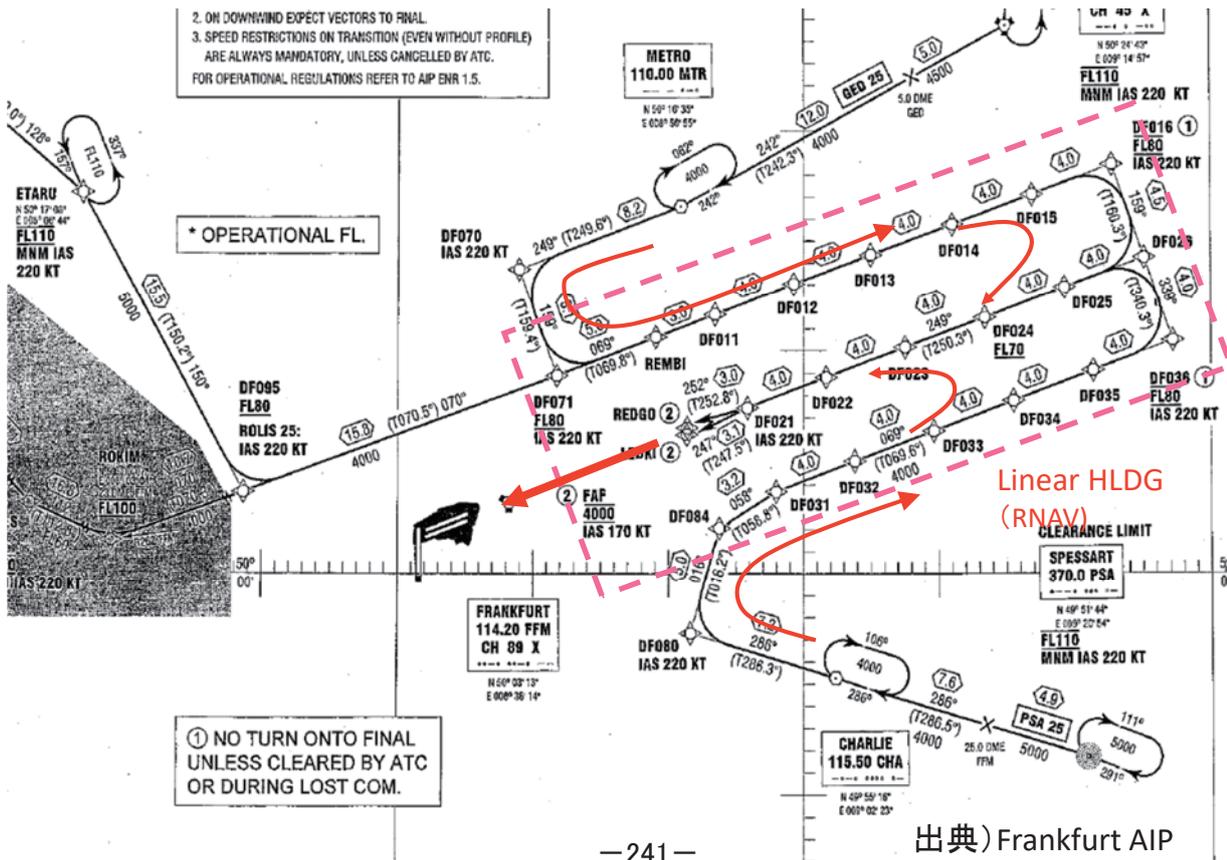
- ✓ FCFSが前提(到着順序の入れ替えによる容量拡大は認識しているが、管制負荷や制限を付けた時の容量拡大効果の大きさ、リアルタイムでの最適化計算などの問題からFCFSを前提に到着順序決定。)
- ✓ 今後は、Best Equiped Best Served (BEBS)か
- ✓ 到着予定時刻(ETA: Estimated Time of Arrival)は飛行中もリアルタイムで更新し、スケジューリング計算システムに反映

出典)

Michael Robinson et al.: Traffic Management Advisor (TMA) – weather integration, 14th Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology, 2010.



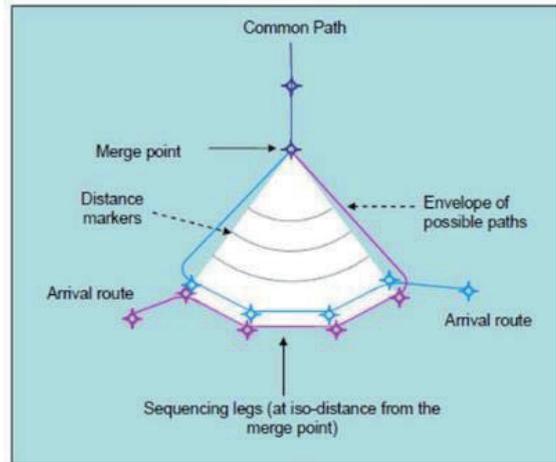
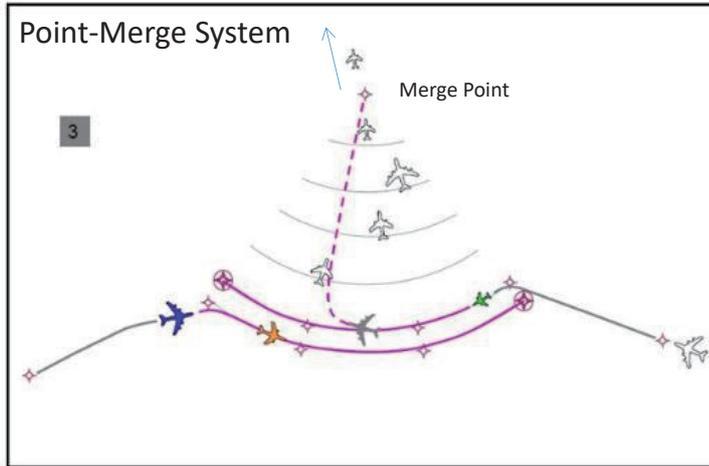
## Linear Holding for efficient merging of arrivals with lower ATC workload



# Point-merge system

- New efficient and lower ATC workload system for merging task for landing (Oslo (2011), Dublin (2012), Seoul (2012), Paris (2013), Gatwick and London City (2015))

A specific route structure with an inherent converging geometry and an embedded path stretching capability



合流点から等距離のアーキ上を飛行させ、先行機との間隔がとれたら合流点へ直行指示するだけ。リニアホールディングより高効率で混雑時にも適用可能

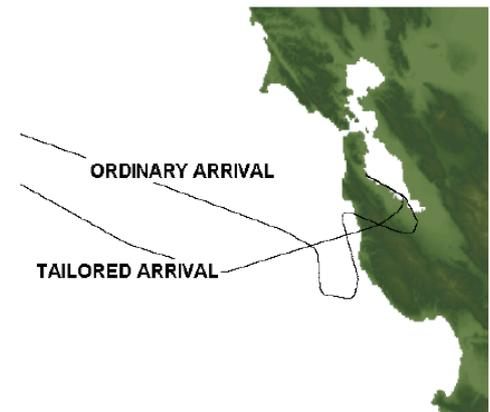
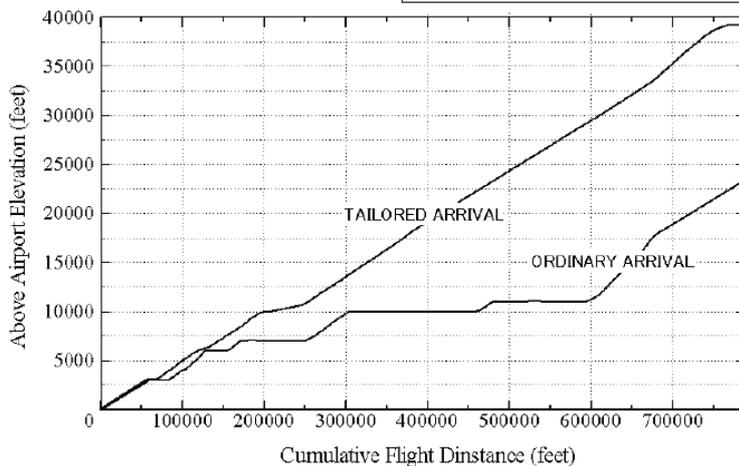
出典) Eurocontrol

# CDA 継続降下方式

## Continuous Descent方式

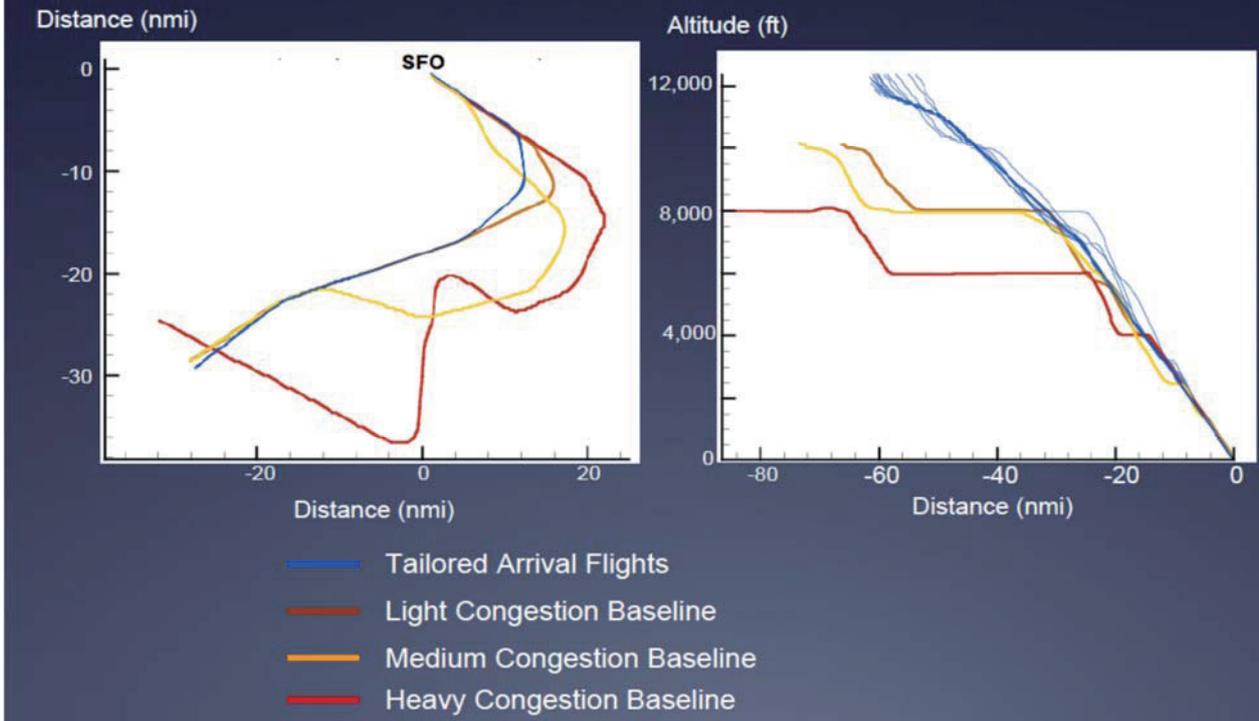
降下中に所々で水平飛行を行う、いわゆるStep Down方式での降下がこれまでの一般的な降下方法であったが、最近では連続して降下するContinuous Descent方式が実施できるようになっている。

サンフランシスコ空港での事例



出典) 桂田健(2011)

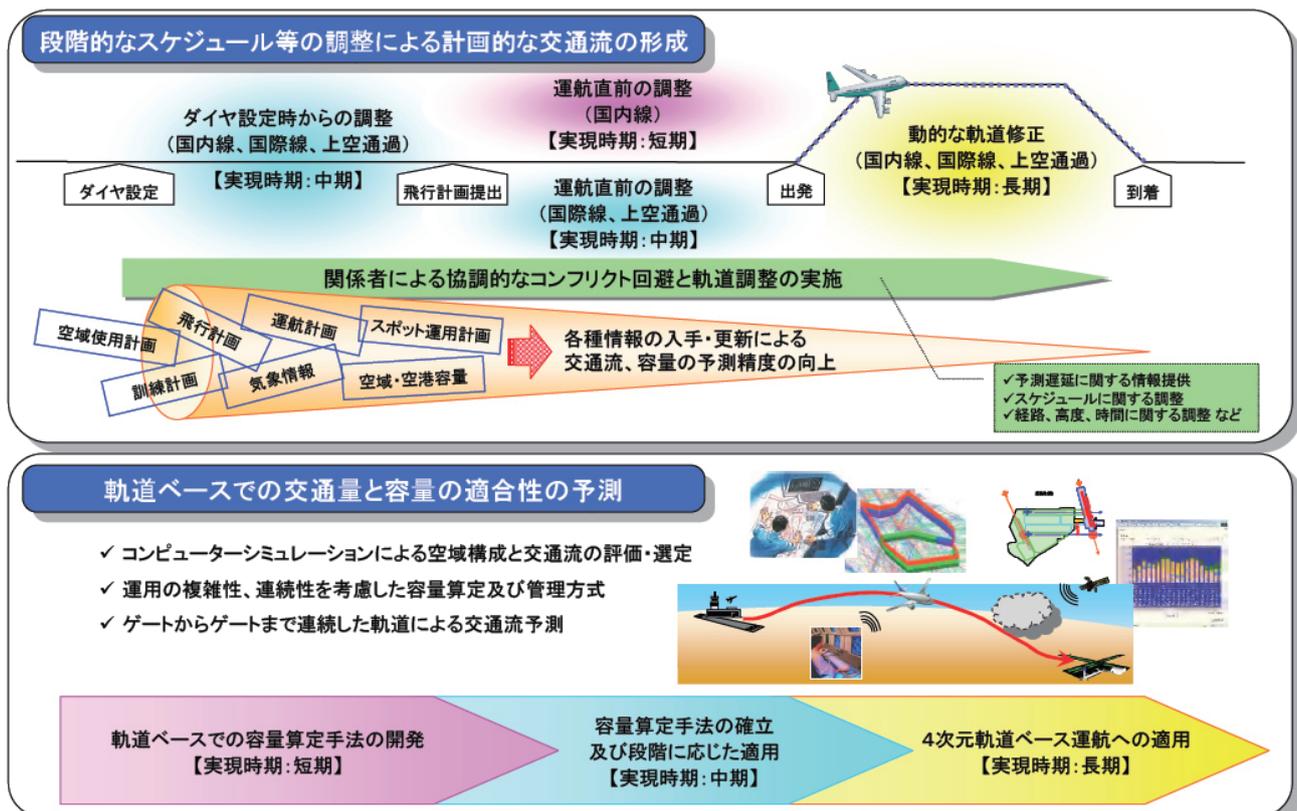
# Benefit Baseline: Representative Flights



Source) Richard A. Copenbarger (NASA) (TA/CDA Workshop, Tokyo, 2008)

23

## 航空交通流と容量: 計画的な交通流形成



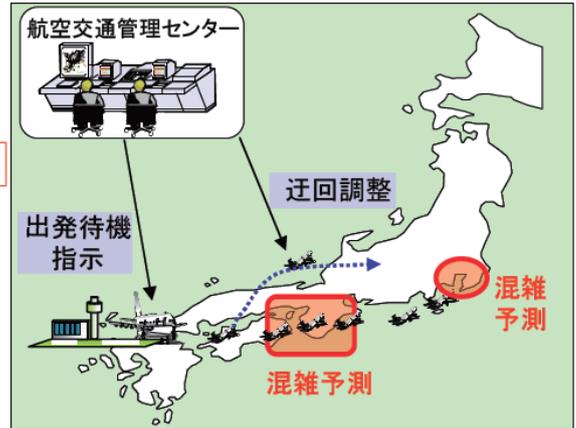
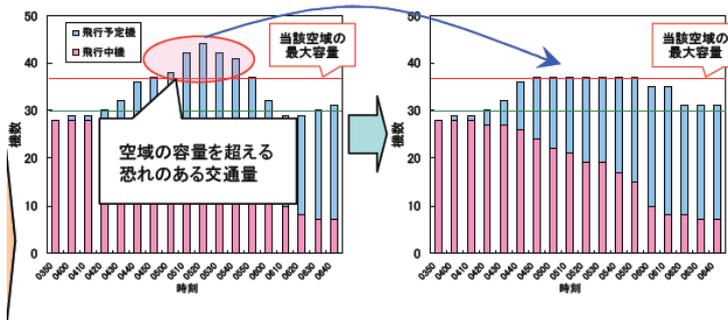
# 航空交通流管理(ATFM: Air Traffic Flow Management)

## 航空交通流管理(交通流制御)とは？

⇒ ある空港や空域で過度の混雑の発生が予想される場合に、航空機の出発を遅らせたりすることで、空港や空域において交通量を適正な範囲内に調整

⇒ 安全性の確保, 消費燃料の節約(=CO2対策)

空域の混雑が予測される場合、交通流制御を実施し、最大かつ適正な交通流を維持。

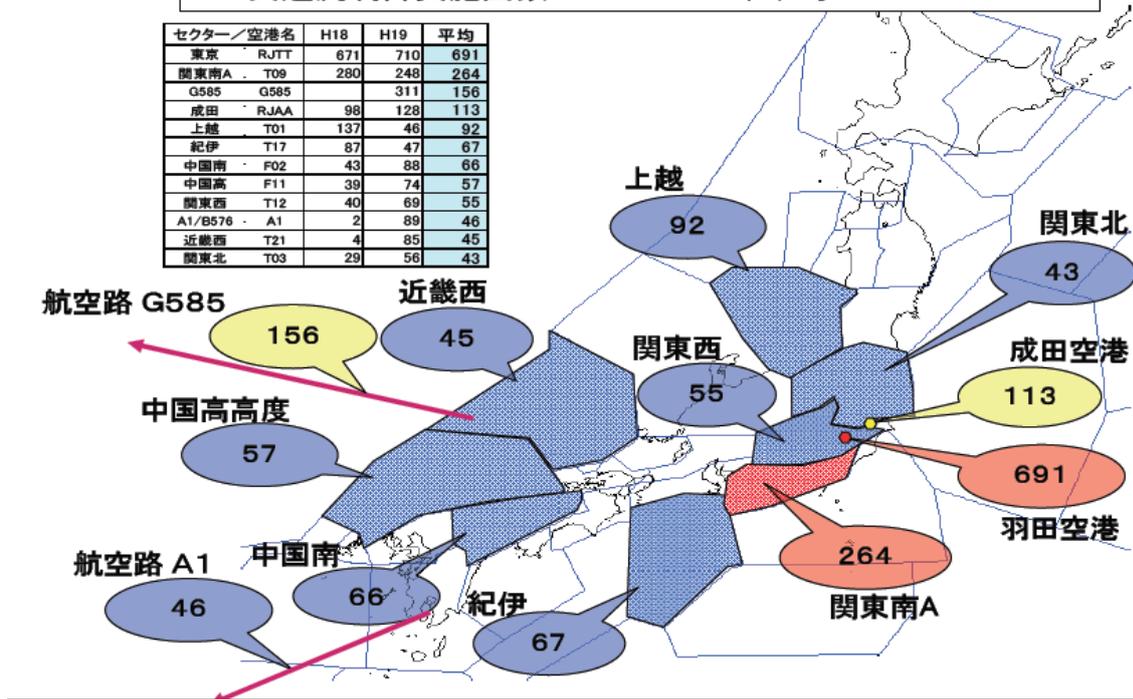


出典) 航空局・将来の航空交通システムに関する研究会 資料(2009)

## 交通流制御実施回数の上位エリア

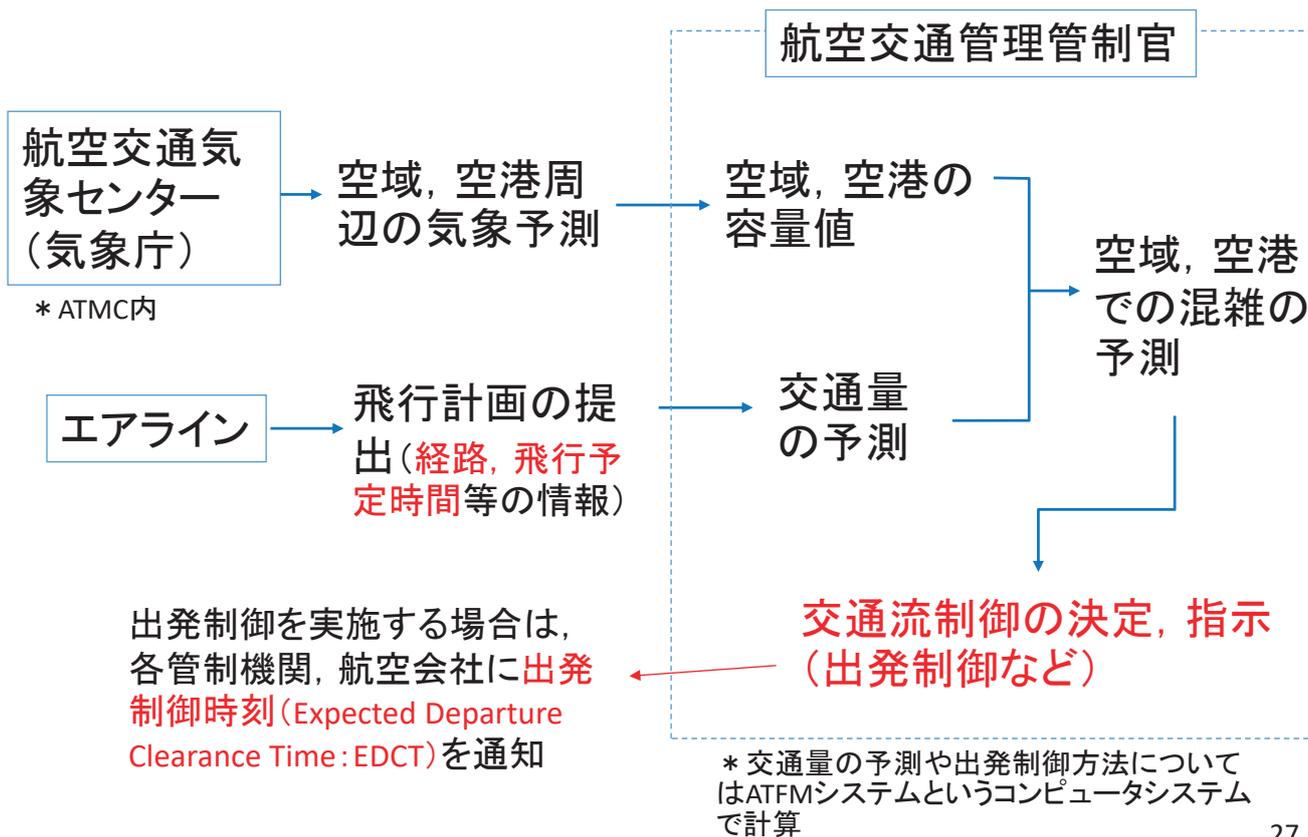
交通流制御実施回数(2006・2007年平均)の上位エリア

セクター/空港名	H18	H19	平均
東京 RJTT	871	710	691
関東南A T08	280	248	264
G585 G585		311	156
成田 RJAA	98	128	113
上越 T01	137	46	92
紀伊 T17	87	47	67
中国南 F02	43	88	66
中国高 F11	39	74	57
関東西 T12	40	69	55
A1/B576 A1	2	89	46
近畿西 T21	4	85	45
関東北 T03	29	56	43

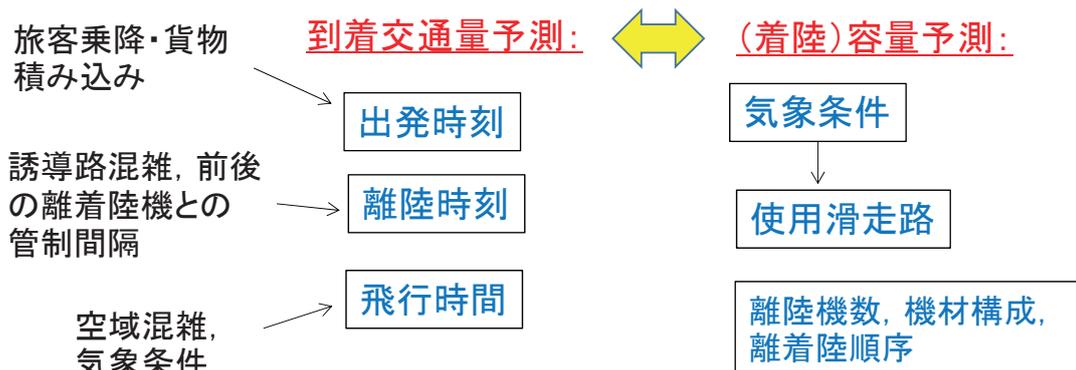
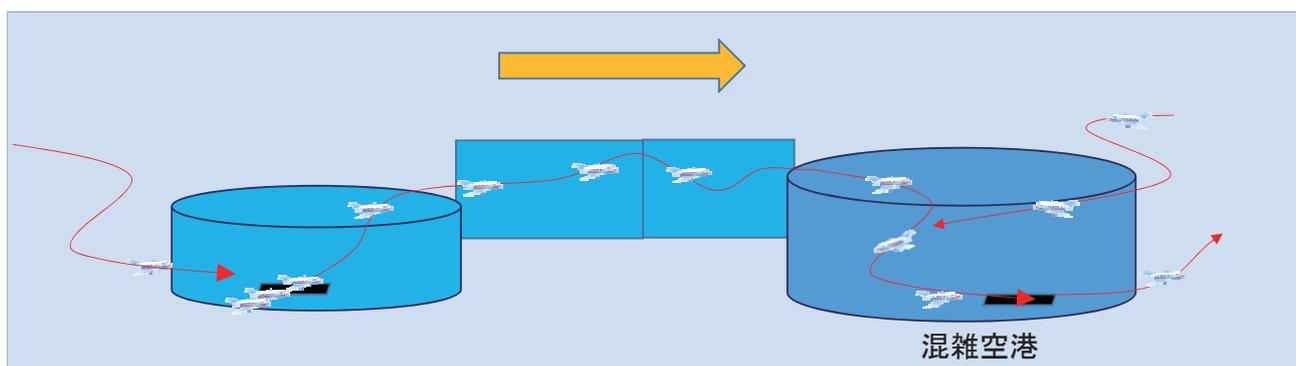


出典) 航空局・将来の航空交通システムに関する研究会 資料(2009)

# 出発時刻制御プロセスの概要



## ATFMにおける予測上の不確実性(例:混雑空港への到着)



## 欧米:フライト情報の提供におけるディスインセンティブの解消

・従来のGDPでは, エアラインがリアルタイムのフライト情報(遅延など)をFAAに提供すると, 2重に遅延を被る可能性があった(Double Penalty問題)

⇒これを解決するための2つのアルゴリズムの開発

(1) Ration-By-Schedule (RBS)

(2) Compression

29

## “Ration-By-Schedule(RBS)”と“Compression”

### (1) RBS:

出発制御遅延を割り当てる際に, **元々のスケジュール上(ダイヤ上)の到着予定時刻で到着スロット配分の優先順位を決めること。**

遅延などにより更新された到着予定時刻では決めない。

### (2) Compression:

フライトのキャンセルや遅延により空いたスロット(Open Slot)の使用権は, 元々スロットを保有していたエアラインの便にあり, もしそのエアラインが使用しない(できない)場合には他のエアラインが到着予定時刻順で使用する



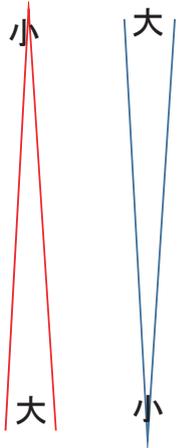
スロットの未使用を最小限にする

⇒トータルの遅延の最小化

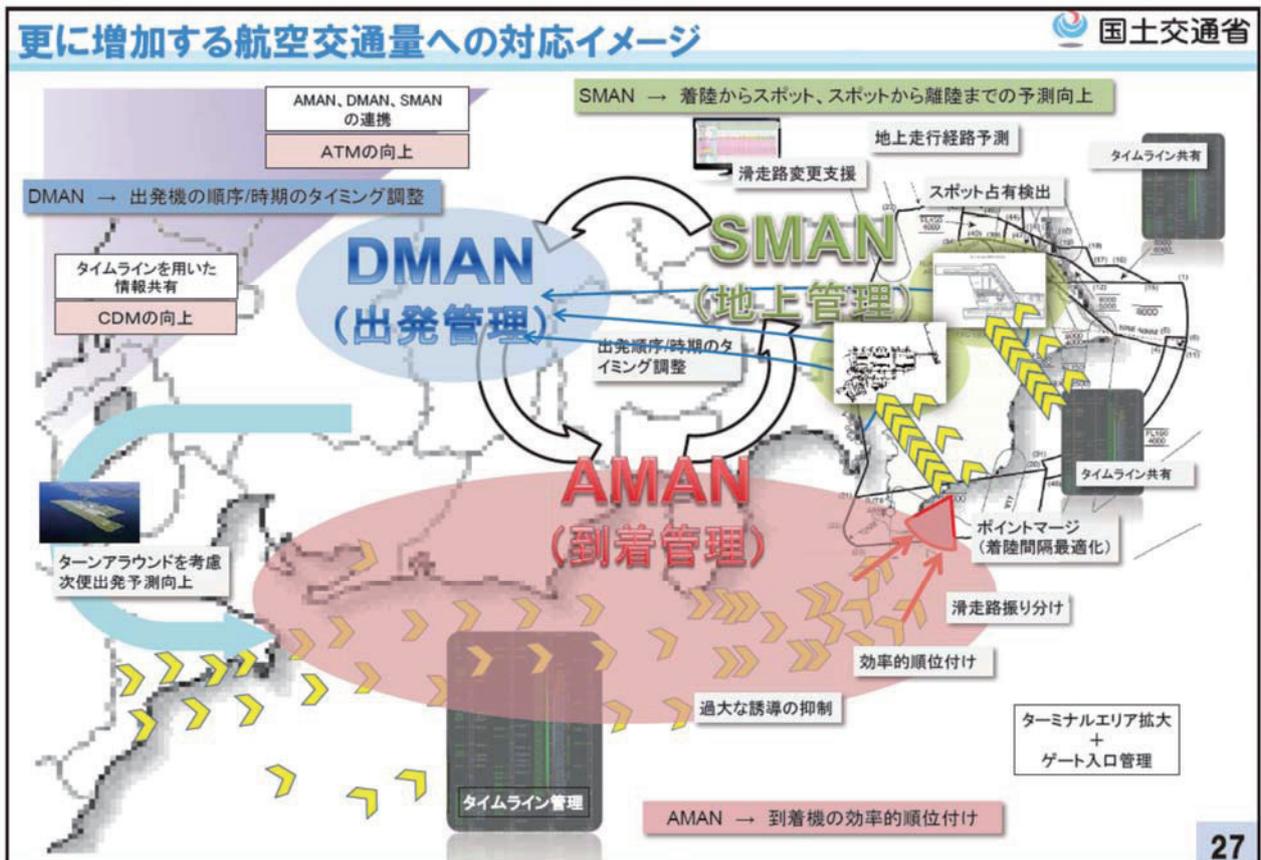
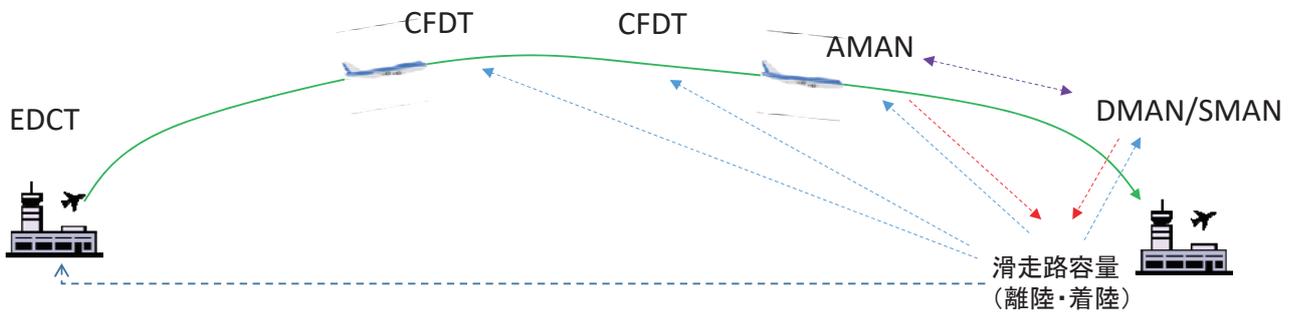
\* なお, 欧州ではUSと同様にRBS(First Planned First Serve)でスロット配分をしているが, 複数個所での空域混雑・空港混雑がネックとなってCompressionはUSほど自由にはできない(同エアライン内のみスロット交換でかつ他空域等への影響がないことをEurocontrolが確認できた場合のみ)

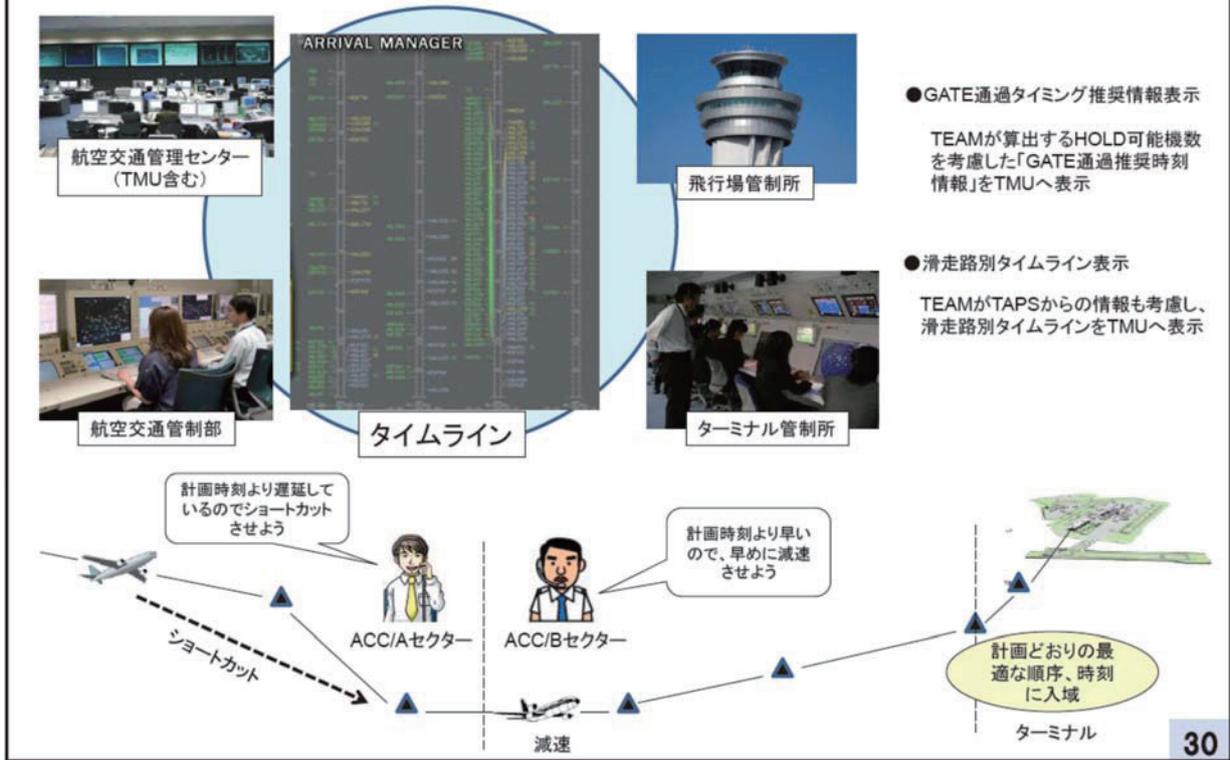
# 飛行全体でみた航空交通流管理と到着管理

予測精度 調整幅



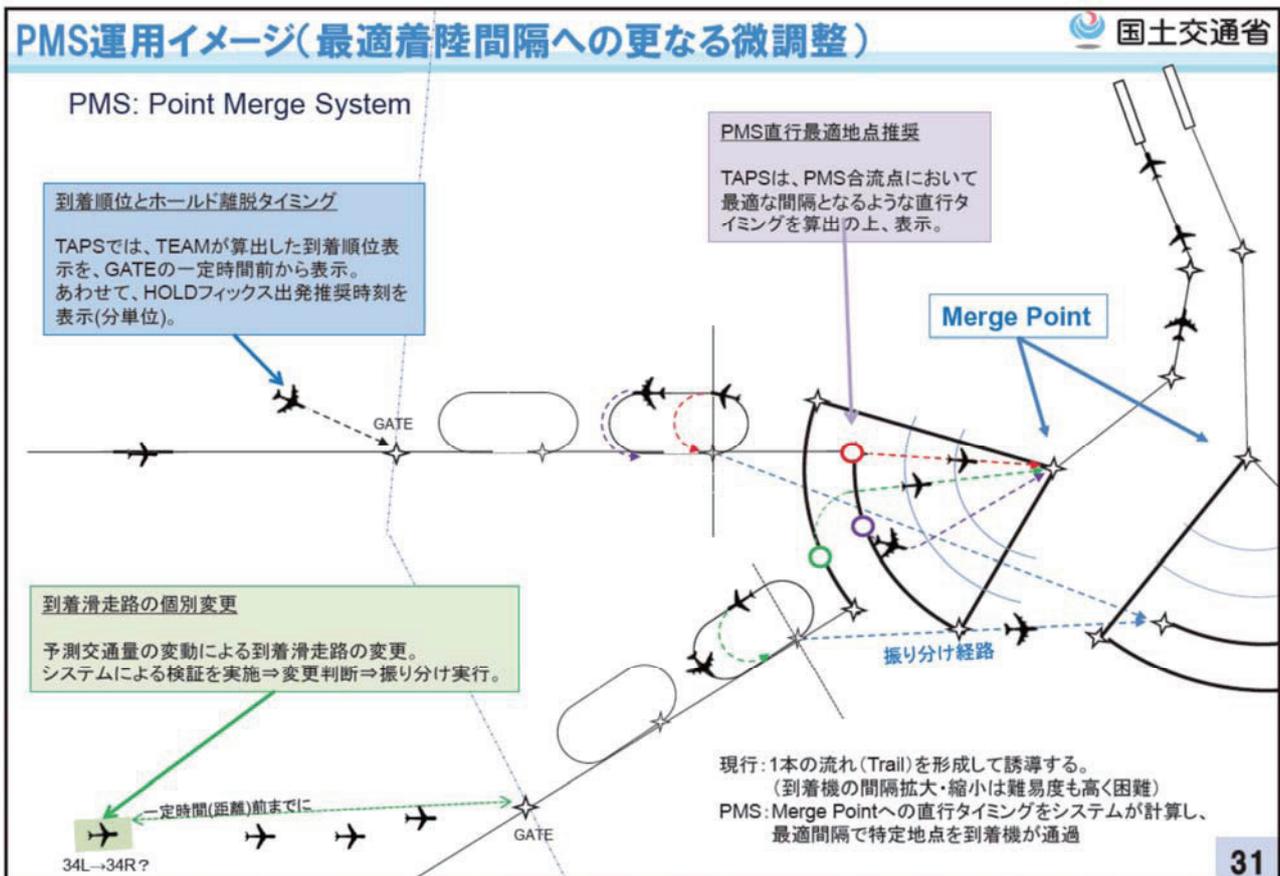
- ✓ **ボリュームコントロール(出発前:EDCT)**  
 ← 需給バランスの前提としての滑走路/空域容量  
 ← 容量の予測精度の向上, 離着陸容量配分方法, 容量予測の不確実性
- ✓ **ボリュームコントロール(インフライト:CFDT)**  
 ← 需給バランスの前提としての滑走路/空域容量
- ✓ **シーケンス・セパレーションコントロール(AMAN/DMAN/SMAN)**  
 ← 到着時刻(STA) 割り当ての前提としての滑走路容量(離着陸順序付け)  
 ← 滑走路容量を最大化する離着陸順序付け・滑走路割り当て





出典) 航空局, H28ATSシンポジウム

33



出典) 航空局, H28ATSシンポジウム

34



# 性能準拠型運用(Performance-based Operation:PBO)

**装備、施設に準拠した運用**

特定の航空機の搭載機器、特定の地上無線施設の利用を前提とした運用



**性能準拠型の運用**

航空機が、規定された運航上の性能要件を満たしさえすれば、搭載機器等を限定されない運用

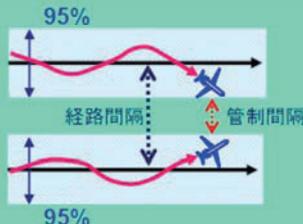
性能要件に応じた管制運用の高度化



高い性能要件を定めた場合は管制間隔の縮小等の効果

ユーザーニーズを考慮した性能要件を定めることで、投資コストに見合った管制運用を提供

**性能準拠型の運用の導入例:PBN (Performance Based Navigation)**

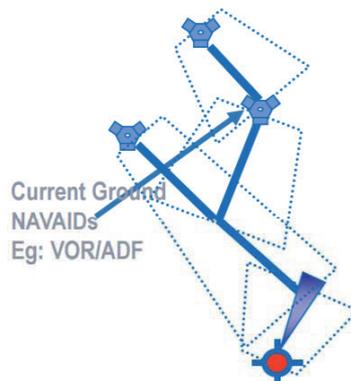


全飛行時間の95%の飛行における航法精度が一定の範囲内

出典)航空局 37

## Conventional v.s. RNAV & RNP in procedure design

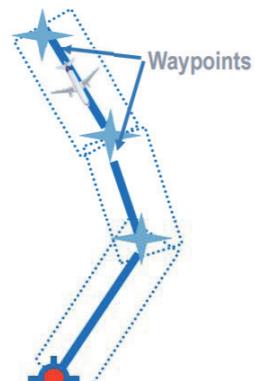
**Conventional Navigation**



Current Ground NAVAIDs  
Eg: VOR/ADF

Limited use of airspace due to Waypoints ground based navaids defined

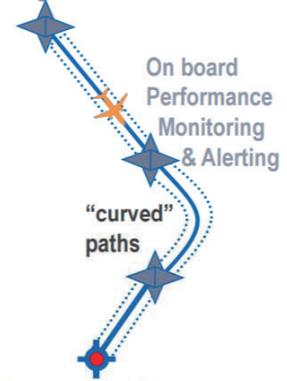
**RNAV Navigation**



Waypoints

Improved use of airspace due to Waypoints geographically defined

**RNP Navigation**



On board Performance Monitoring & Alerting

"curved" paths

Optimum use of airspace due to navigation system capability to contain aircraft position within a "tunnel"

Page 18

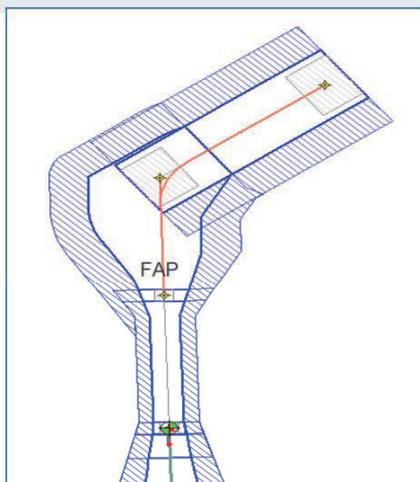


# RNP APCH v.s. RNP AR APCH

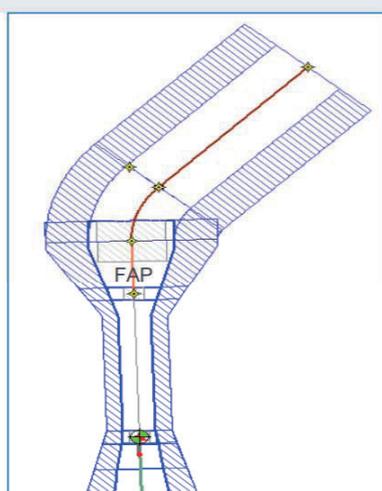
RNP vs. RNP AR		
	RNP OPERATION	RNP AR OPERATION
RNP Value 0.3	✓	✓
RNP Value < 0.3 (down to 0.1)		✓
Straight segment between FAP and RWY	✓	✓
Curve between FAP and RWY		✓
Minima DA / DH could be as low as 250ft	✓ *	✓
Departure and/or missed approach RNP Value < 1		✓

Source) ICAO AFI/MID ASBU Implementation Workshop 2015

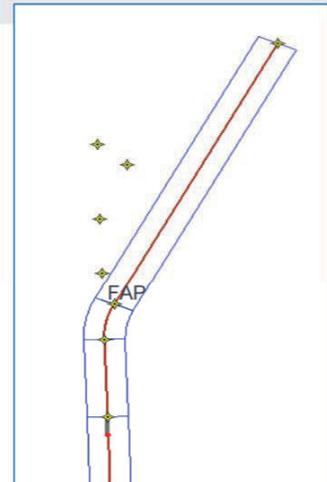
## A word on A-RNP



RNP APCH



A-RNP



RNP AR

**NOTE:**

RF are optional for RNP APCH

RF are required for A-RNP and RNP AR (RF in Final segment only possible for RNP AR)

Source) ICAO AFI/MID ASBU Implementation Workshop 2015

## What PBN can bring to our customers?

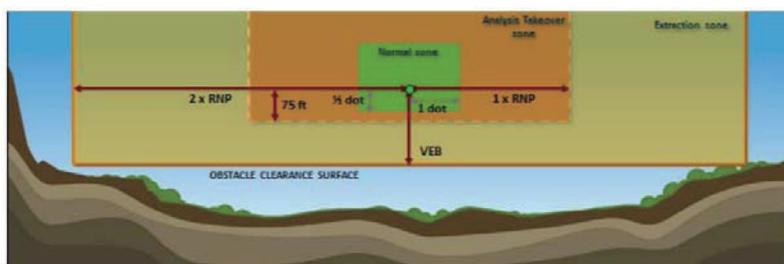
### 3D trajectories

- Laterally, accurate and flexible trajectories
- Vertically, managed descent with CDO



### Benefits in

- Airspace Capacity
- Safety
- Airport Access
- Efficiency (Track miles savings)
- Environment(noise,CO2)



Page 28

© Airbus Operations S.A.S. All rights reserved. Confidential and proprietary information.

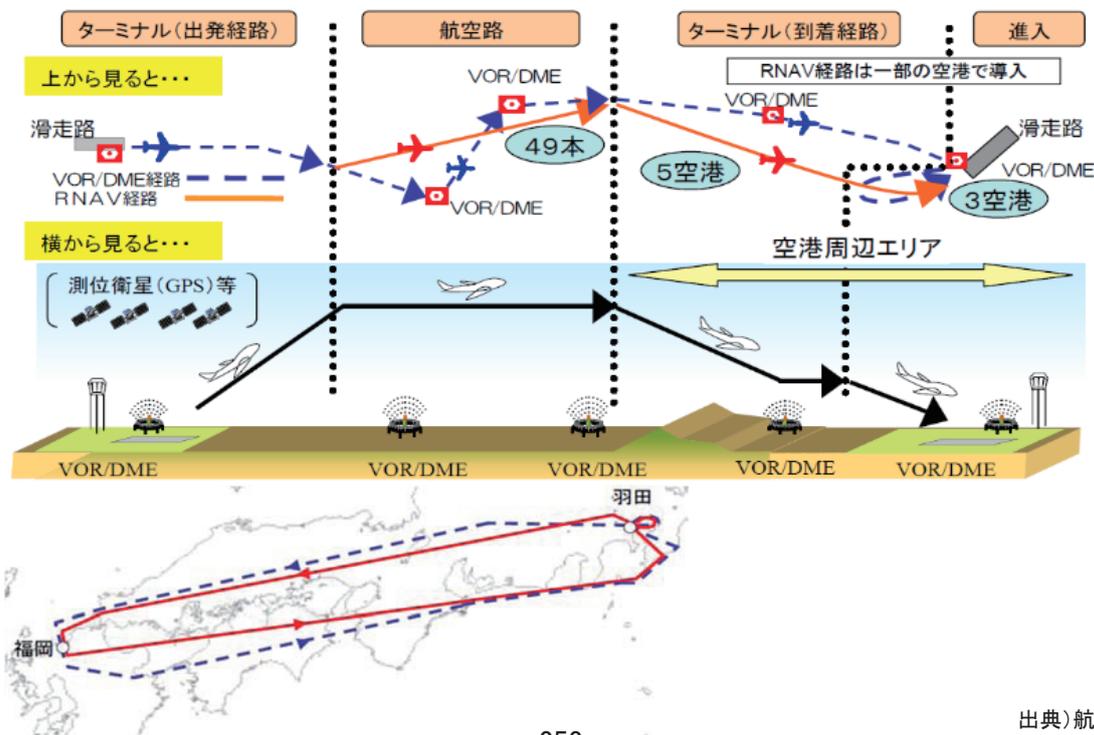


Source) ICAO AFI/MID ASBU Implementation Workshop 2015

41

## RNAV(Area Navigation:広域航法)

GPS, 高度なFMS, 地上無線施設を組み合わせた次世代航法  
→ 地上無線施設にとられない柔軟な航空路を設定可能



# RNAV経路の一例(福岡空港到着経路)

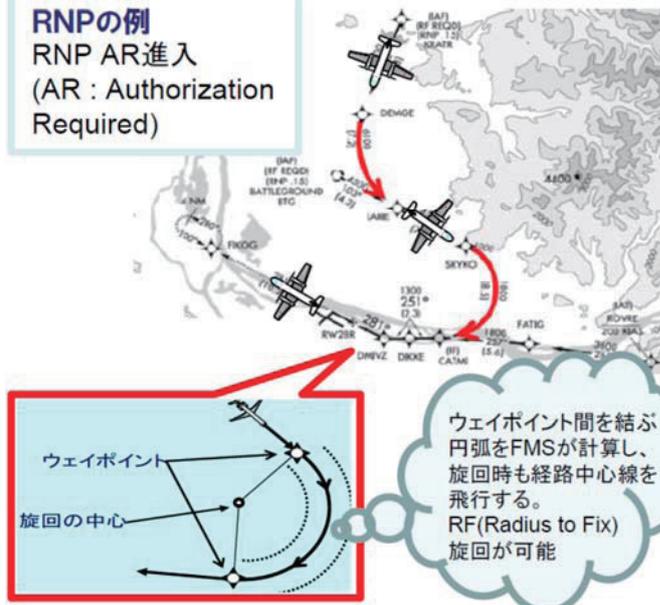


出典) 航空局

43

RNP (Required Navigation Performance) : RNAVと原理は同じであるが、経路維持監視警報機能を有する機上装置により、レーダー監視空域外でも飛行が可能な方式。

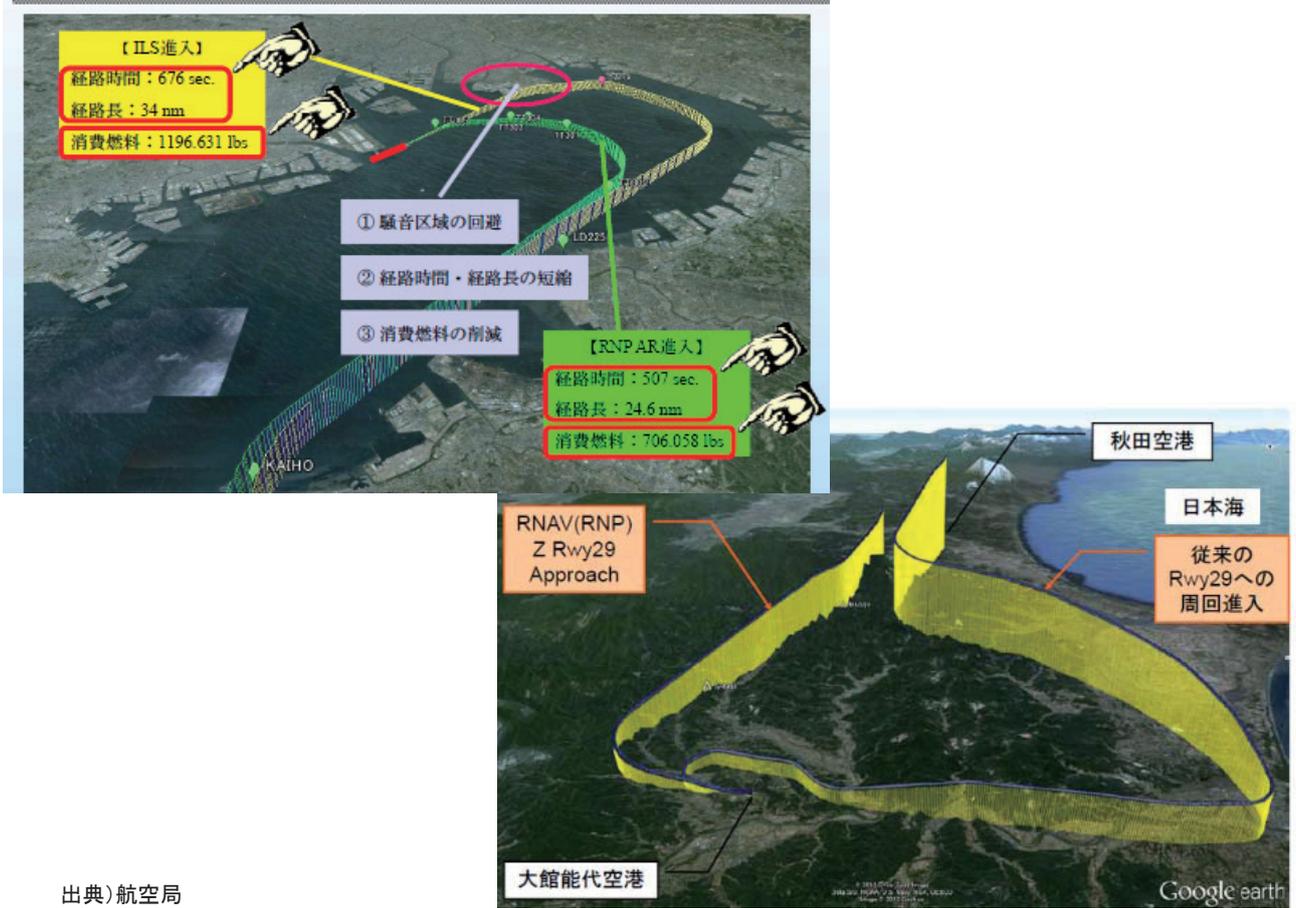
**RNPの例**  
RNP AR進入  
(AR : Authorization Required)



出典) 航空局

44

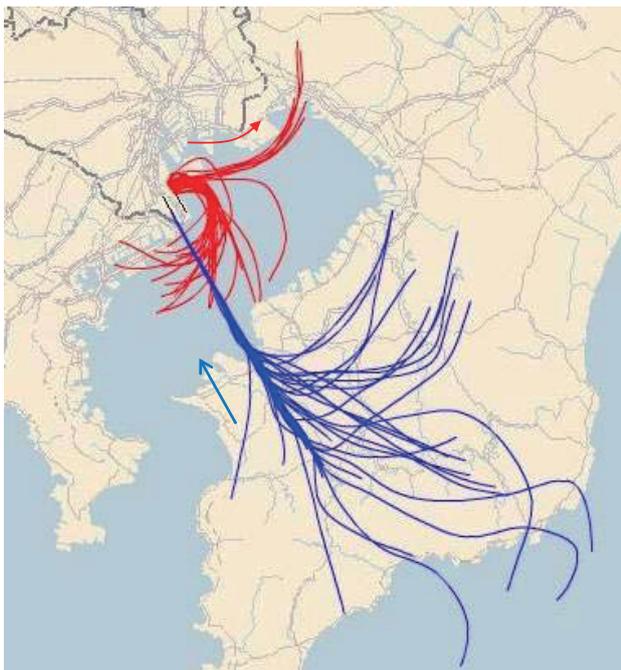
# 羽田 RNAV (RNP) RWY 23 進入



出典) 航空局

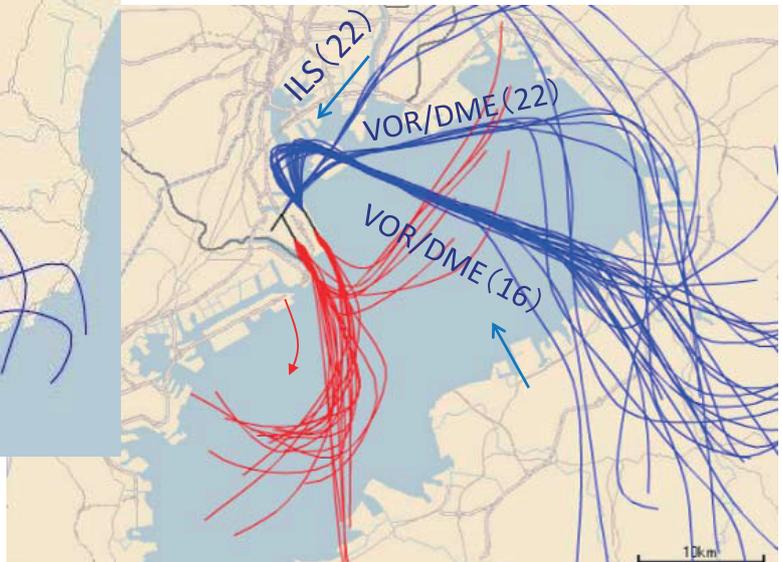
# 気象条件と着陸方式

羽田の航跡図実績(再拡張前) 6000ft以下の航跡



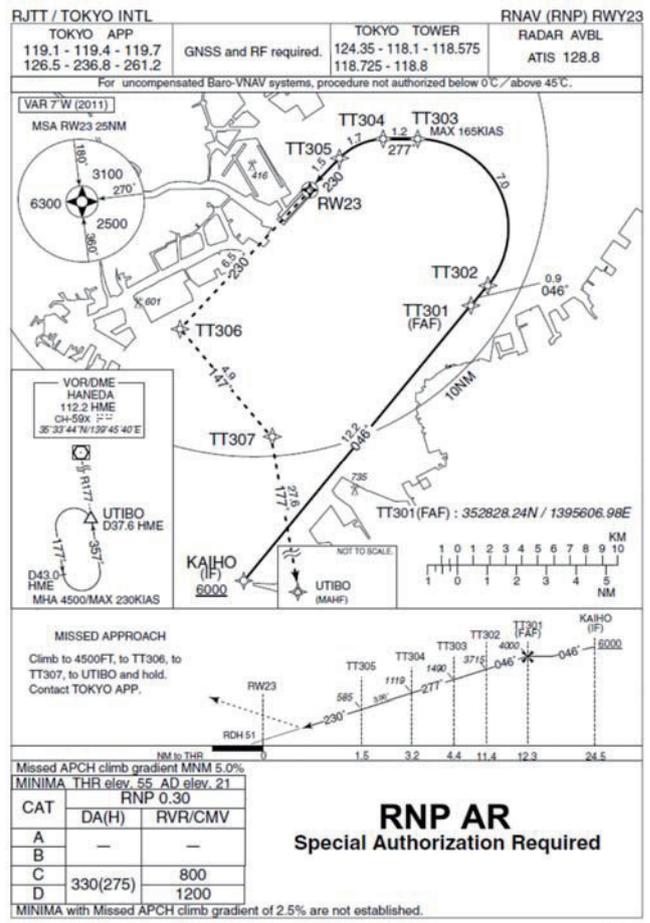
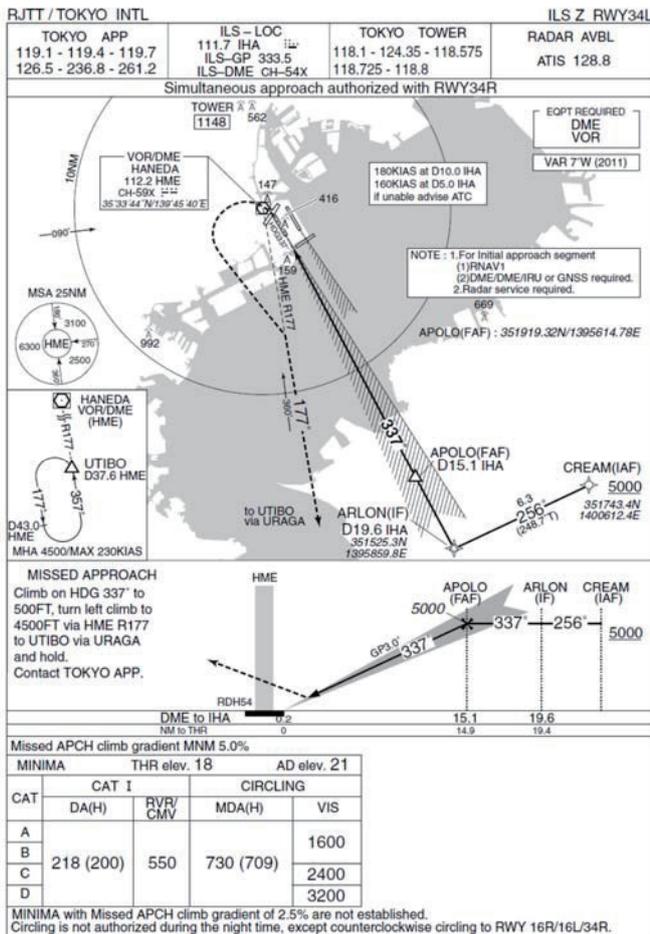
ILS Approach

風向風速・視程によって着陸滑走路・着陸方式が変化→騒音影響・容量も変化

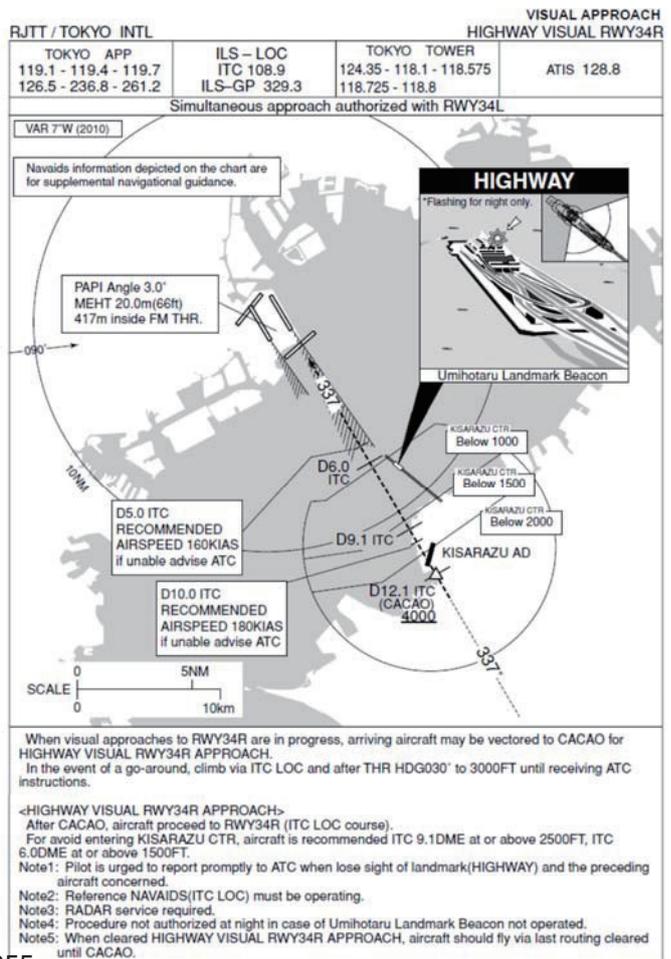
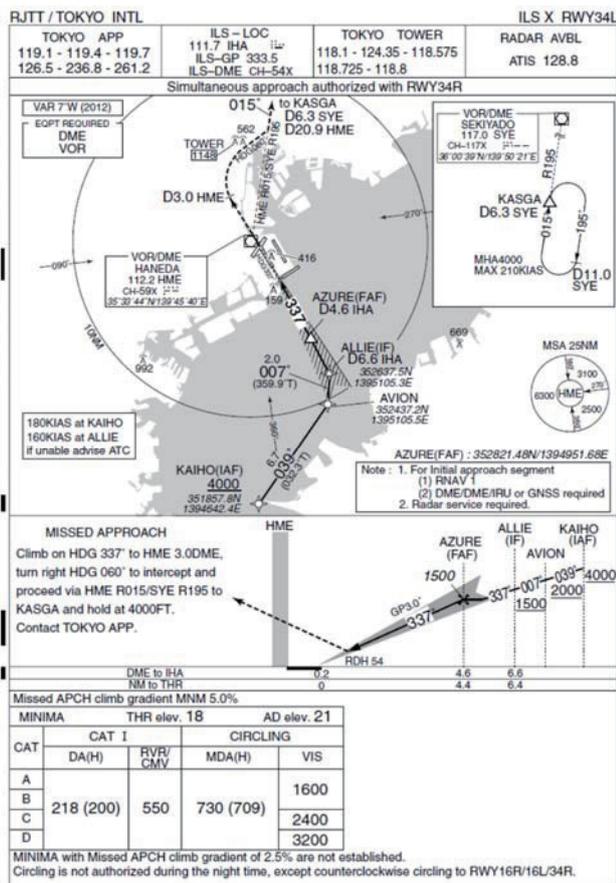


南風(悪天時): ILS(22), 南風(好天時): VORDME(16)・22

出典) 航空局 <https://www.franomo.mlit.go.jp/>



**RNAV+ILS ↓ CVA →**

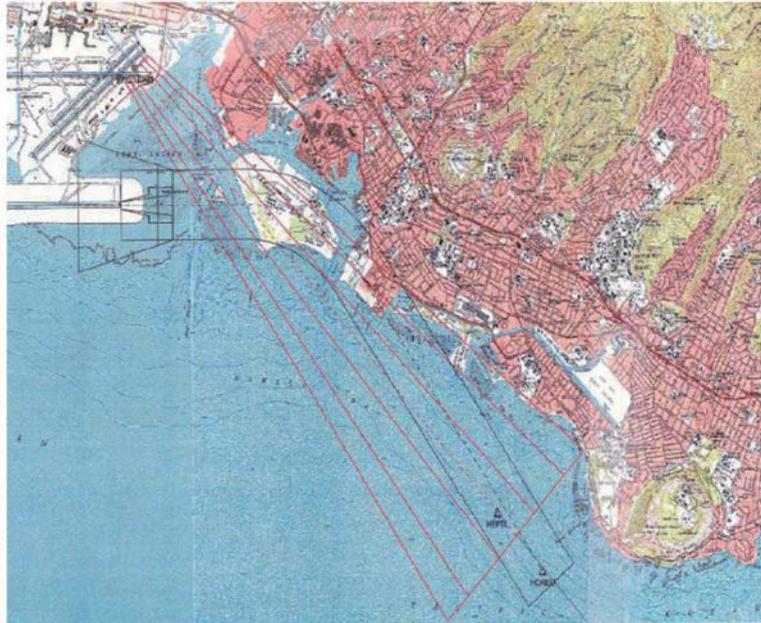






## Applications (1)

- RNP AR APCH can be used to increase safety and access where conventional approach cannot be aligned to runway
- US Honolulu procedure provides stabilized approach with final segment aligned to runway

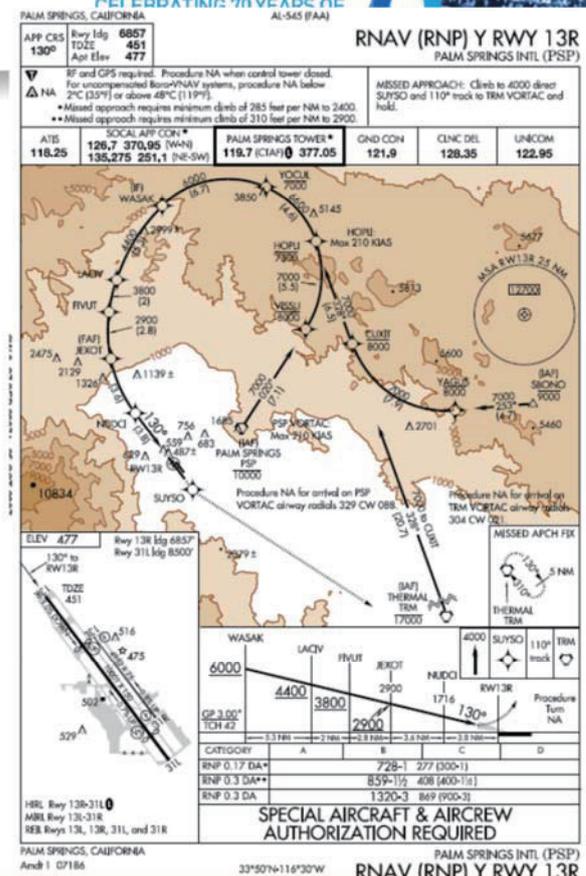


Source)ICAO



## Applications (2)

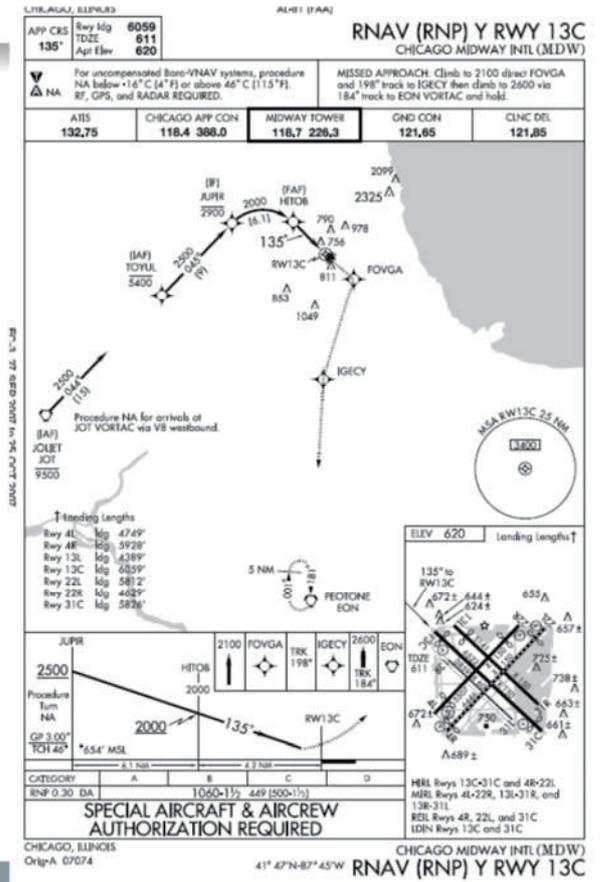
- RNP AR APCH can be used to improve safety and increase access in mountainous terrain
- US: Palm Springs procedure provides approach through mountainous terrain



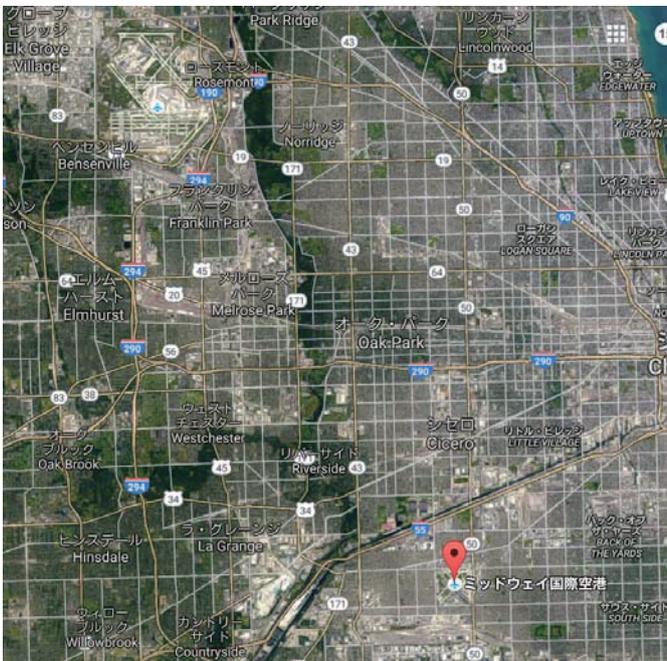
Source)ICAO

# Applications (3)

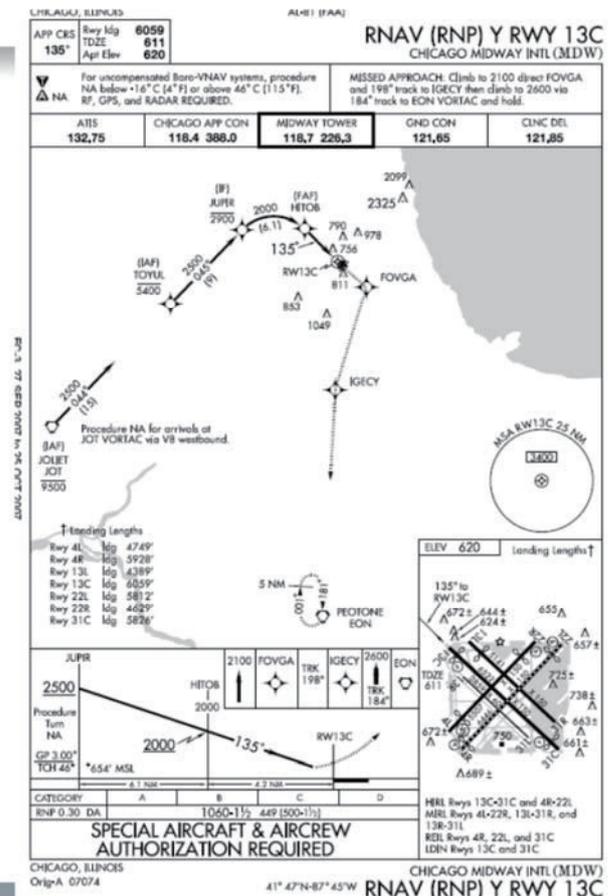
- RNP AR APCH can be used to increase access in congested airspace
- US Chicago Midway (MDW) procedure provides approach without conflicting with Chicago O'Hare (ORD) traffic



Source)ICAO



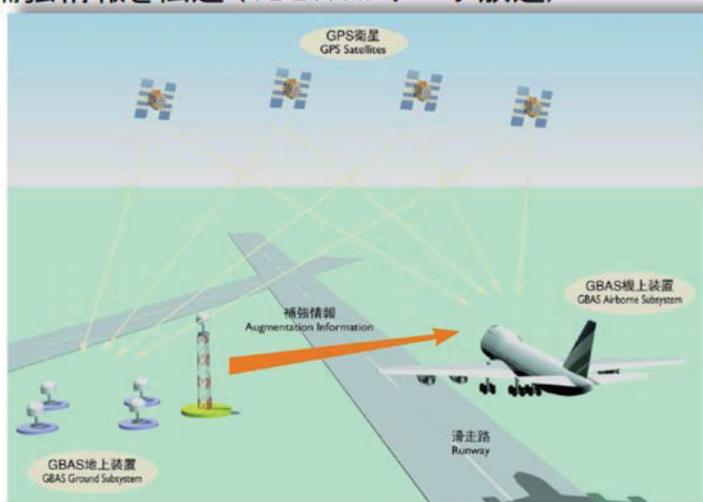
conflicting with Chicago O'Hare (ORD) traffic



Source)ICAO

# GBAS (Ground-Based Augmentation System)

- 地上型衛星航法補強システム
  - GNSSを用いた航空機の航法システム
  - GLS(GBAS Landing System)
    - ILSに代わる精密進入システム
  - 地上から機上にVHFで補強情報を伝送 (VDB:VHFデータ放送)
    - DGPS補正情報
    - 地上装置の情報
    - 進入経路の情報
  - 地上装置
    - 基準局装置
    - データ処理装置
    - VDB送信装置
  - 機上装置
    - マルチモードレシーバ
    - GNSS受信機
    - VDB受信機

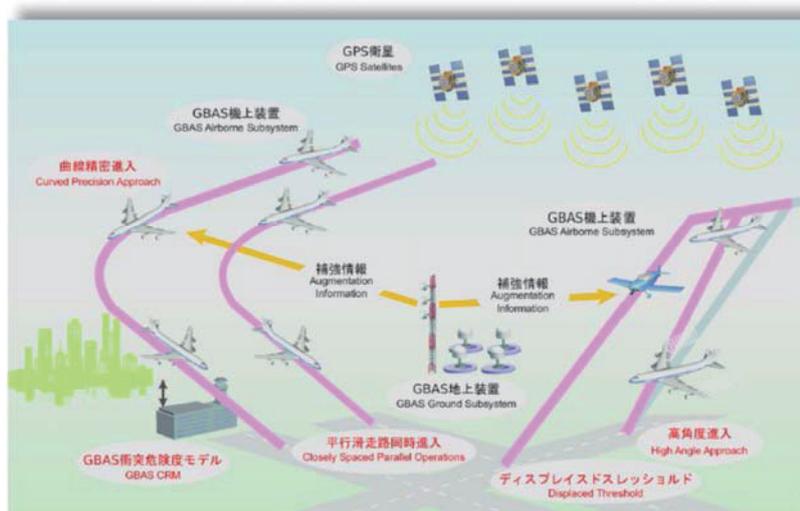


出典) 電子航法研究所

55

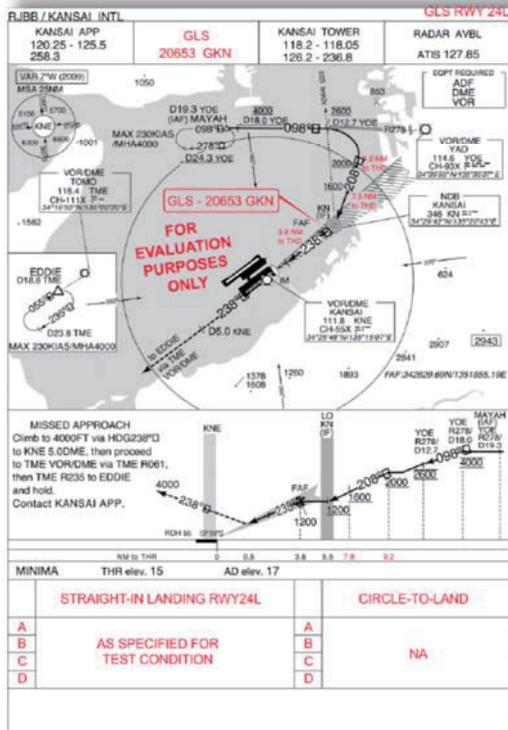
## GBASの特長

- 経路情報を補強情報として放送
  - 最終着陸進入経路:FAS(Final Approach Segment)
  - FASに至る経路:TAP(Terminal Area Path)
  - 1装置で複数の進入経路の提供が可能
    - 電波(周波数)の有効利用
    - コスト削減
- TAPによる曲線進入
  - 騒音緩和
  - 障害物回避
  - 燃料削減
- さらに・・・
  - ディスプレイスドスレッシュホールド
  - 高角度進入
    - 後方乱気流回避
  - 空港面誘導



出典) 電子航法研究所

# GLS RWY 24L



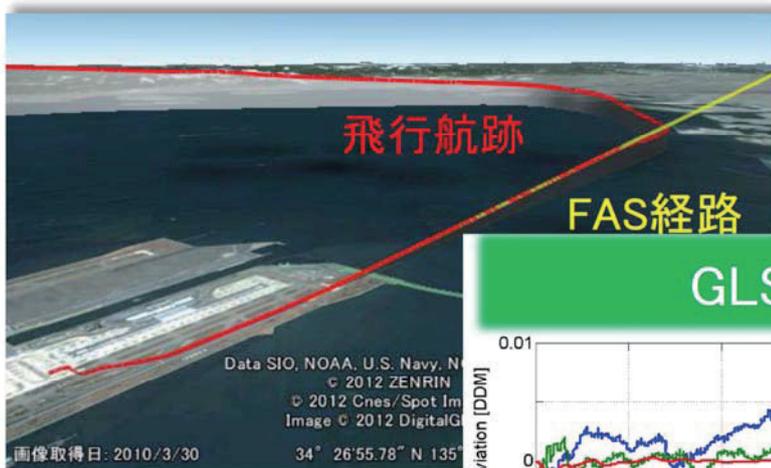
- GLS RWY 24L
  - GLS CH 20653
  - RPID: GKN
- 2011年10月と2012年4月のGLSフライトの中からそれぞれ1フライトについての結果を示す。

←実験用のGLSチャート

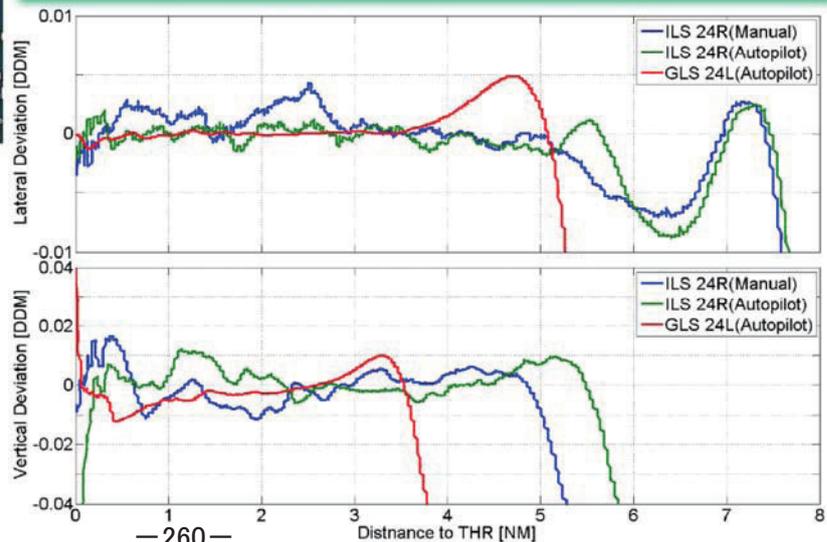


出典) 電子航法研究所

## 飛行航跡例 (2011.10, ANA)

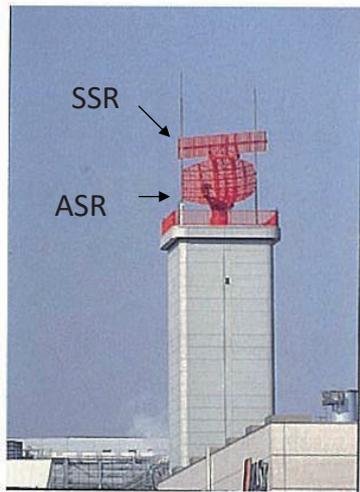


## GLSとILSの比較



出典) 電子航法研究所

# 航空機監視レーダー



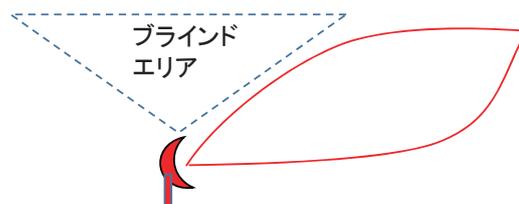
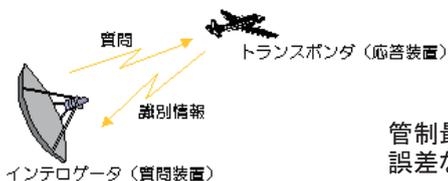
ASR/SSR アンテナ

## レーダー回転数

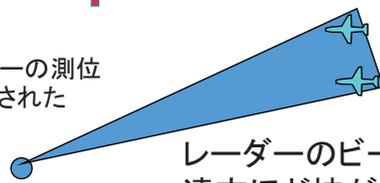
- ASR (空港監視レーダー): 1回 / 4秒
- ARSR (航空路監視レーダー): 1回 / 10秒
- ASDE (空港面探知レーダー): 1回 / 1秒

→ レーダー画面の更新もこのレート

ASRからの情報を処理 → ARTS (ターミナルレーダー管制用)  
ARSRからの情報を処理 → RDP (航空路管制用)



管制最低間隔は、レーダーの測位誤差などを考慮して設定された

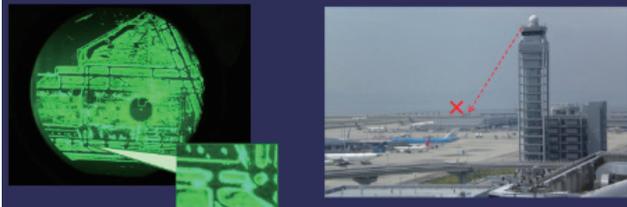


出典) 航空保安業務の概要 (航空局), 森川

# 新たな地上監視レーダー: マルチラレーション (MLAT)

## 空港面探知レーダー (ASDE) の課題

- 航空機便名を自動で表示できない
- 悪天候時に性能が低下する
- 建造物等の遮蔽によるブラインドエリア



## マルチラレーションの特徴

- 航空機便名を画面表示できる
- 悪天候時でも性能が低下しない
- 空港内の全てのエリアを監視できる
- ◎ 航空機側に追加装備を必要としない

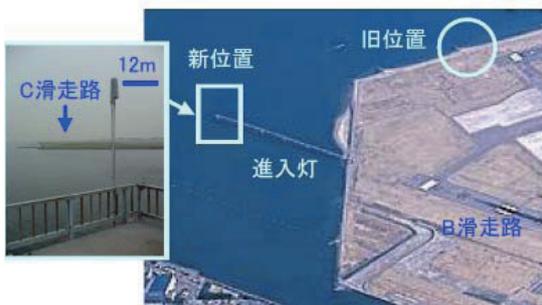
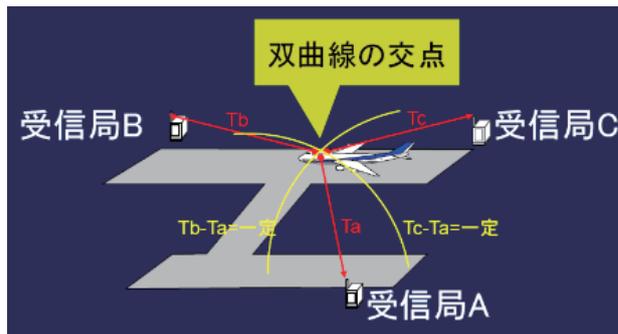


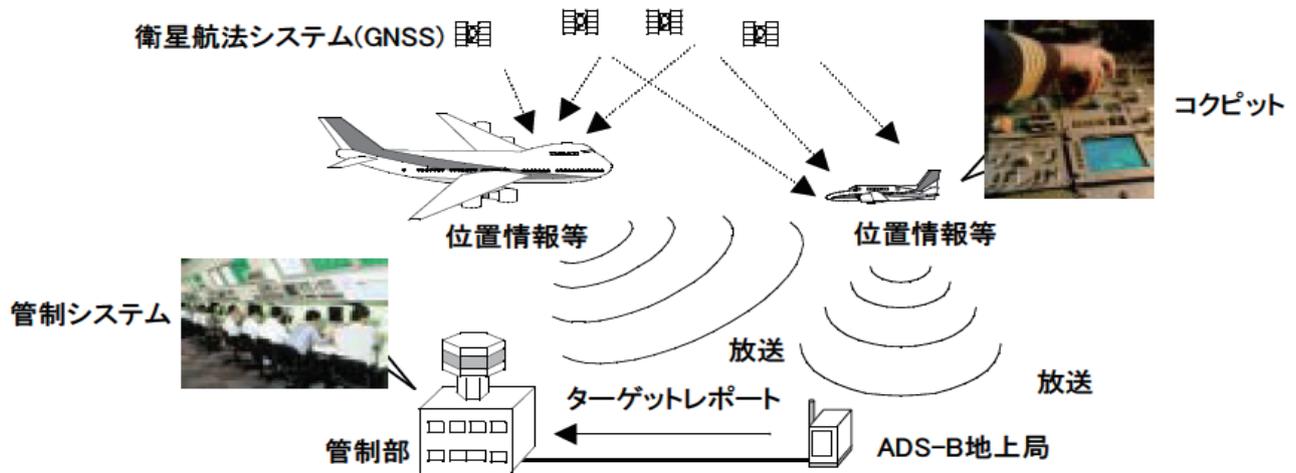
図 5-10 受信局 6 の移設場所とアンテナ設置状況



出典) 電子航法研究所

レーダー (ASR) より更新レートが高く、精度も高い。監視覆域: ブラインド面でも有利。広域 MLAL (WAM) もあり。

# ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) 放送型自動位置情報伝送・監視機能



出典) 電子航法研究所

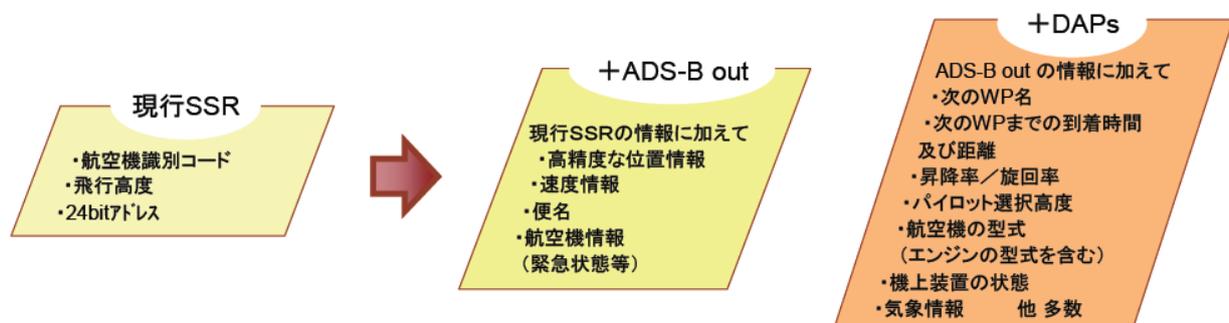
航空機がGPS等により正確な位置を計測し、その情報を他の航空機や、衛星・地上局経由で管制機関へ送信  
→ 次世代の監視システムの主力！

61

## ADS-B out

ADS-B out (Automatic Dependent Surveillance - Broadcast out: 放送型自動位置情報伝達機能)は、航空機が有する基本的な動態情報(高精度な位置情報、速度情報等)を地上管制施設に対して放送する機能

DAPs (Downlinked Aircraft Parameters)は、航空機が有する多様な動態情報(針路、昇降率/旋回率等)をSSRモードSを用いて地上にダウンリンクする機能



### 航空機動態情報(ADS-B outとDAPs)

航空機動態情報をダウンリンクする方法として、ADS-B out とDAPsがある。

ADS-Bは、頻繁に(毎秒2回程度)情報を自動的にダウンリンクできるというメリットがある。一方、SSRモードSを使用したDAPsは、ダウンリンクできる情報の種類が多い。

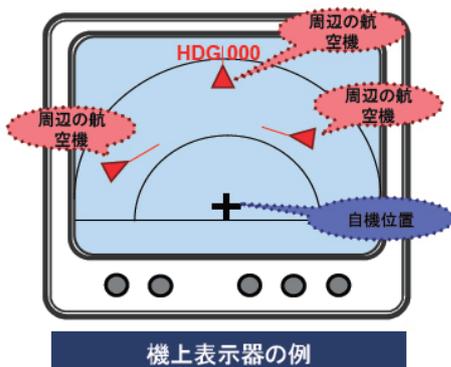
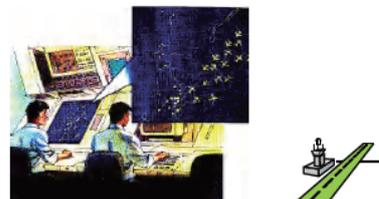
航空機動態情報の活用により、地上での状況認識能力を向上させ、かつ管制支援機能の充実を図ることにより、管制官のワークロードを軽減すると共に、安全性の向上に寄与することができる。

# ADS-B in / ASAS

ASAS (Airborne Separation Assistance System)は、航空機相互が位置情報等を交換しながら、お互いに監視を行うための装置

## ASASの導入効果

ASASの導入により、パイロット側の状況認識能力を向上することができ、安全性を向上させると共に、空域の容量拡大に寄与することができる。



63

# 地上・機上での状況認識能力の向上

データリンクにより地上と機上で情報を一体的に共有し、それぞれの状況認識能力を向上させる。ADS-B等による空対空監視を導入し、機上での間隔維持(ASAS)を実現する。

### 管制情報のアップリンク



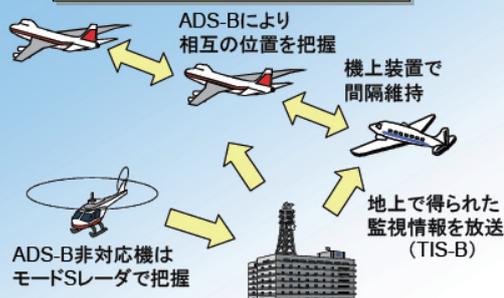
### 航空機動態情報のダウンリンク



### 機上で周辺の交通状況を認識



### 機上での間隔維持 (ASAS)



出典) 航空局 64

# ASASの段階と機体間隔保持の責任

## (1) ATSA (Airborne Traffic Situational Awareness applications) : 状況認識向上

→ 間隔保持タスクと責任は現状と同じ(管制官)

## (2) ASPA (Airborne SPACING applications) : 管制官指示の間隔をパイロットが保持

→ 間隔保持タスクの一部がパイロットになるが, 責任は管制官. 最小間隔も現状のまま.

## (3) ASEP (Airborne SEParation applications) : 限定的な自律間隔保持と責任移譲

→ 間隔保持タスクと責任がパイロットになるが, 限定された空域・時間で実施. 新たな最小間隔の基準設定が必要

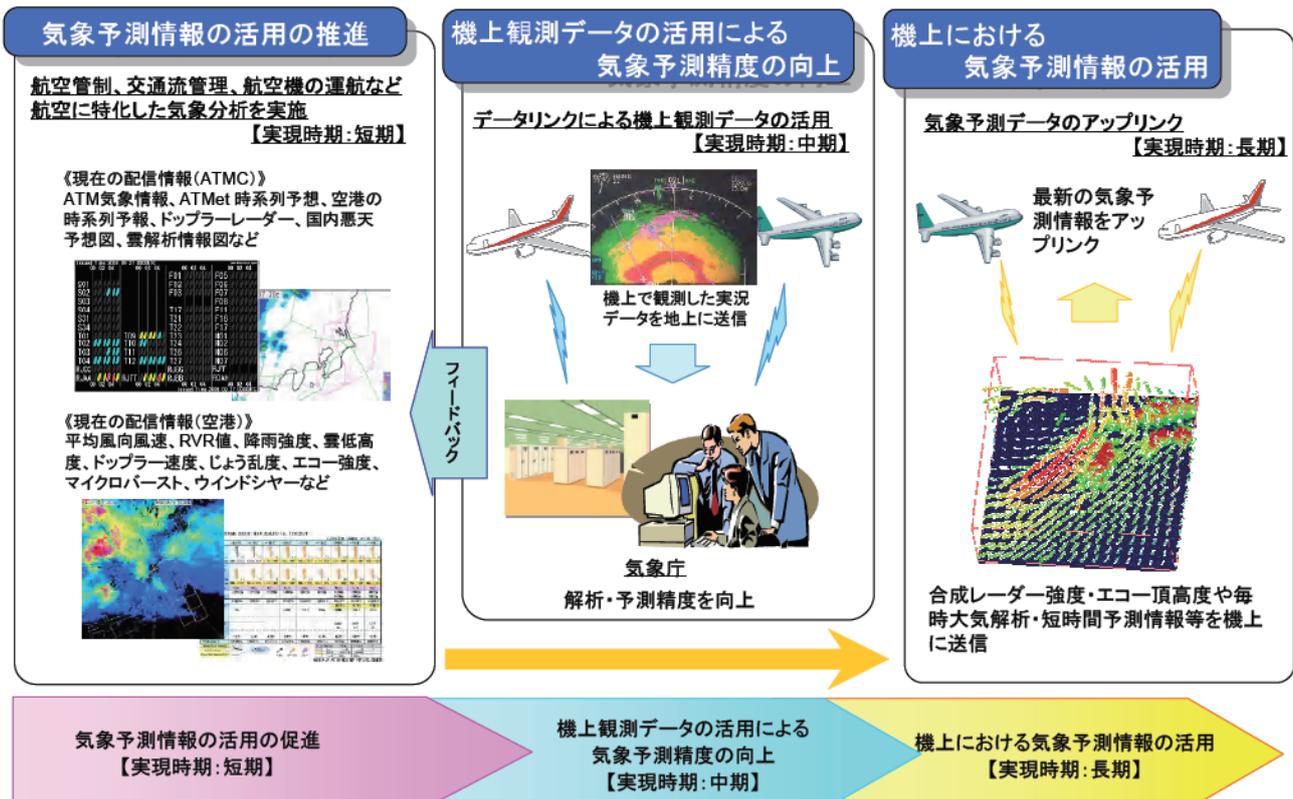
## (4) SSEP (airborne Self-SEParation applications) : 完全自律間隔保持と責任移譲

→ 基準に従い, 間隔保持タスクのすべてをパイロットが行う.

出典)伊藤恵理, ENRI PAPER, No124 (2010)

65

# 気象予測の高度化





## 背景: 国際的な動向 (1/2)

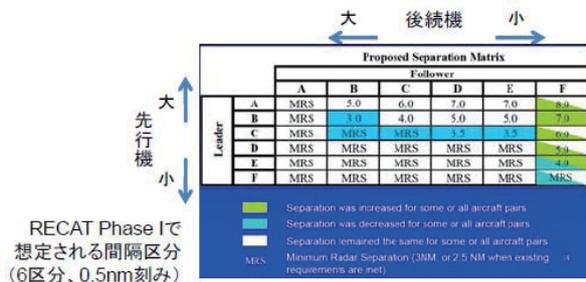
### ICAOの動向

▶ 後方乱気流研究グループの設置 (WTSG)  
 後方乱気流管制間隔、同間隔区分の見直しを目的に、Wake Turbulence Study Group (WTSG) を設置。  
 PANS-ATM改訂の準備を行う。

### 米国の動向

▶ 後方乱気流管制間隔区分の見直し (RECAT)  
 現在の管制間隔3区分を6区分に細分化する (Phase I) ことで、安全性向上、空港容量拡大、遅延解消を狙う。  
 欧州との共同で2012年からの運用を目指す。個別の機種組み合わせに応じた管制間隔の導入 (Phase II)  
 は2015年以降、気象条件を考慮した動的な間隔短縮の導入 (Phase III) は2020年以降を予定。

▶ 近接平行滑走路 (CSPRs) での離着陸間隔短縮  
 先行機が中小型機の場合に着陸間隔を短縮する飛行方式を制度化し、一部空港 (全米7空港) で導入開始  
 (FAA Order 7110.308)。横風を活用した離陸間隔短縮 (WTMD) は2011年以降、着陸間隔短縮 (WTMA) は  
 2015年以降の導入を予定。



- ICAO: International Civil Aviation Organization
- WTSG: Wake Turbulence Study Group
- PANS-ATM: Procedures for Air Navigation Service - Air Traffic Management
- RECAT: Wake Turbulence Re-categorization
- CSPRs: Closely Spaced Parallel Runways
- FAA: Federal Aviation Administration
- WTMD: Wake Turbulence Mitigation for Departures
- WTMA: Wake Turbulence Mitigation for Arrivals



## 背景: 国際的な動向 (2/2)

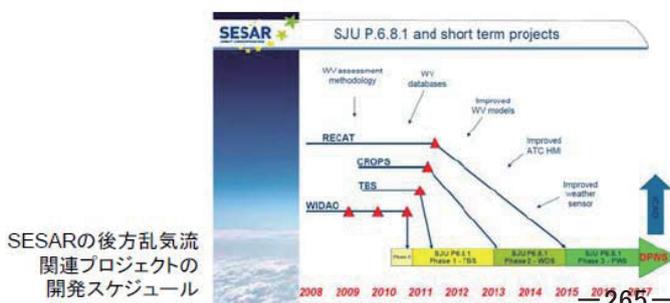
### 欧州の動向

▶ 近接平行滑走路 (CSPRs) での横風を活用した離着陸間隔短縮 (WIDAO)  
 米国WTMD、WTMAと同じく、横風を活用し離着陸間隔短縮を行う。仏シャルル・ド・ゴール空港では、限定的な間隔短縮運用を開始。

▶ 時間ベースの管制間隔 (TBS)  
 管制間隔を距離ベースから時間ベースに変更。向かい風が強い際には、距離間隔を詰める効果有り。  
 2012年以降の導入を予定。

▶ 横風を活用した離着陸間隔短縮 (CROPS)  
 横風を活用した単一滑走路での離着陸間隔短縮を目指し、基礎データ取得プロジェクト (CREDOS) が終了 (2009年11月)。2013年以降の導入を予定。

▶ 気象情報、航空機特性情報を活用した離着陸間隔短縮 (DPWS)  
 横風以外の全気象条件や航空機の飛行特性情報を活用し、個別の気象条件、機種組み合わせに応じて動的に管制間隔を設定。2017年以降のICAO提案を予定。独航空宇宙センター (DLR) 等で研究。



- CSPRs: Closely Spaced Parallel Runways
- WIDAO: Wake Independent Departure & Arrival Operation
- TBS: Time-Based Separation
- CROPS: Crosswind Operations
- CREDOS: Crosswind-Reduced Separations for Departure Operations
- DPWS: Dynamic Pair Wise Separation
- DLR: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
- SESAR: Single European Sky ATM Research

# 通信: データリンク

- DCL (Departure Clearance) : データリンクによる出発管制承認伝達
- 国内CPDLC (Controller Pilot Data Link Communication) : 初期においては周波数移管、航空機識別コード変更等の定型的通信を主として扱う
  - 管制官のワークロード軽減により処理能力の向上
  - 言い間違い、聞き間違い等のヒューマンエラー対策



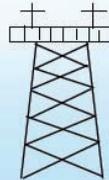
定型通信の自動化によるワークロード軽減  
ヒューマンエラー対策



データリンク端末を装備した操縦室 (例)

## 提供されるサービス(例)

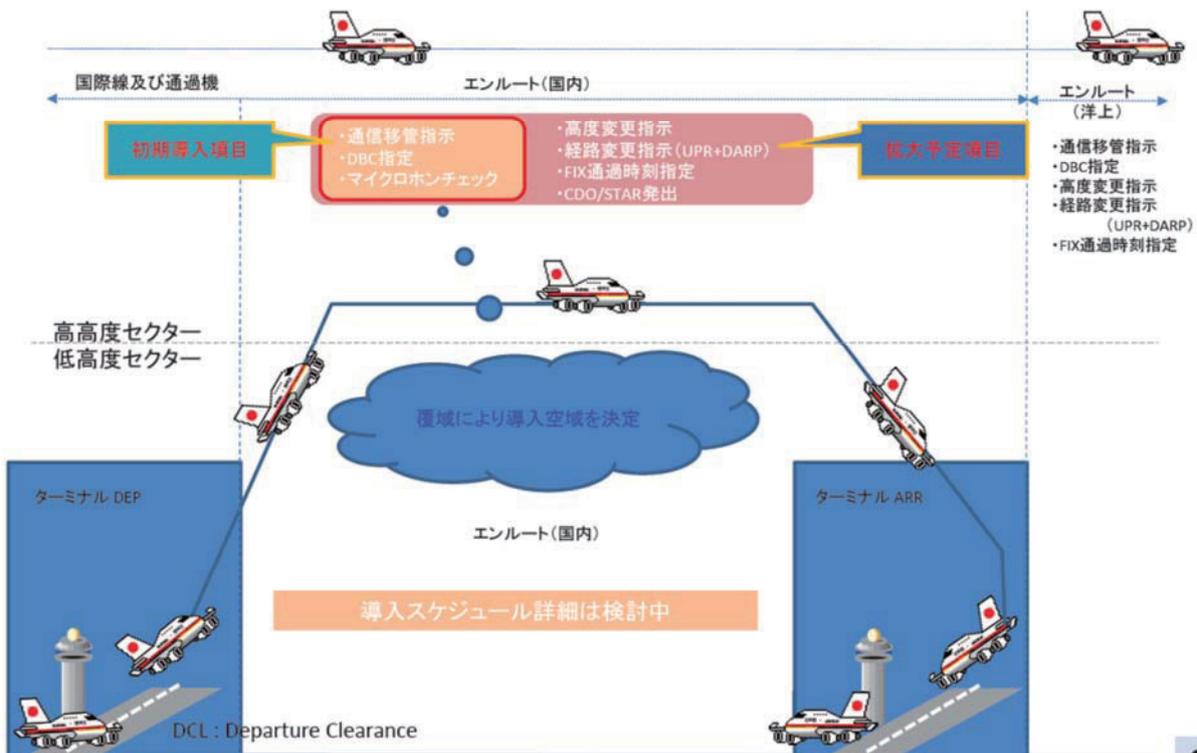
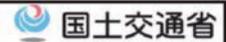
- DCL
  - 出発管制承認に係る一連の通信 (要求/承認/確認)
- 国内CPDLC
  - セクター周波数移管
  - 航空機識別コード変更
  - レーダ識別要求
  - 直行経路指示
  - マイクロフォンの確認指示



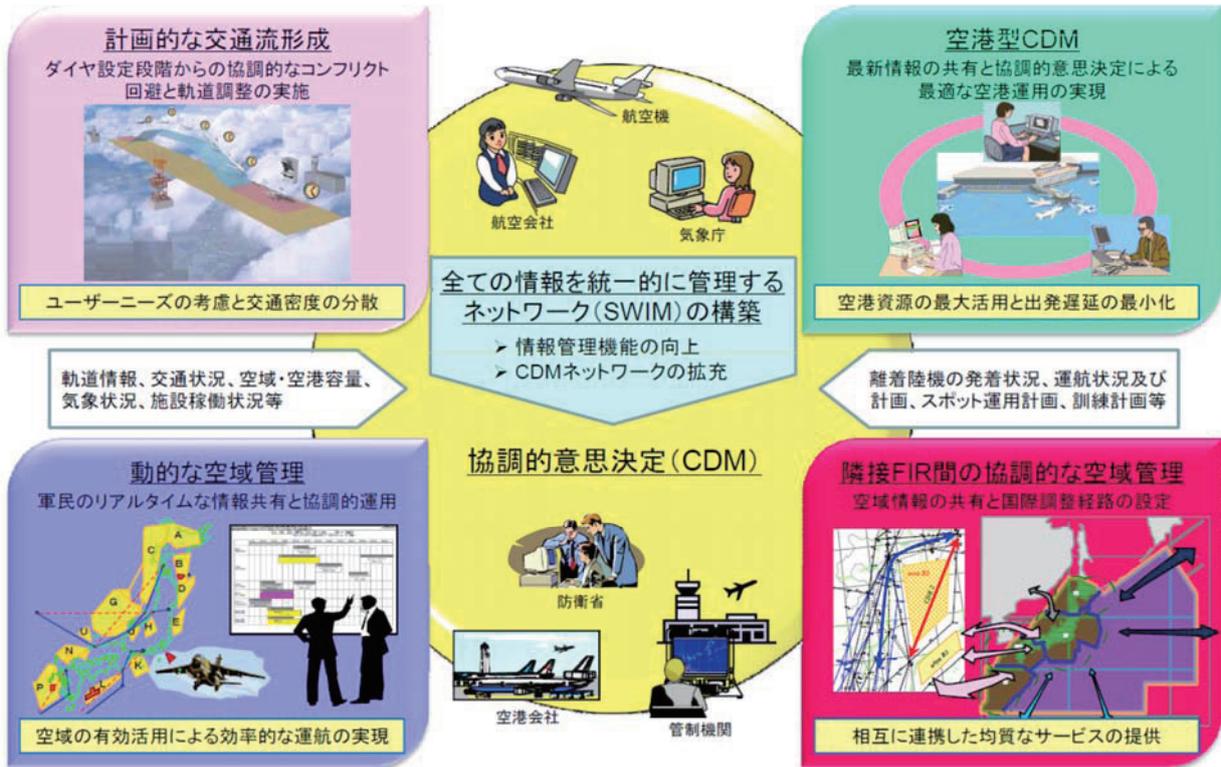
管制官用国内CPDLC画面 (イメージ)

データリンクの拡充により、VHFアナログ音声通信チャンネル数の縮減が可能になる

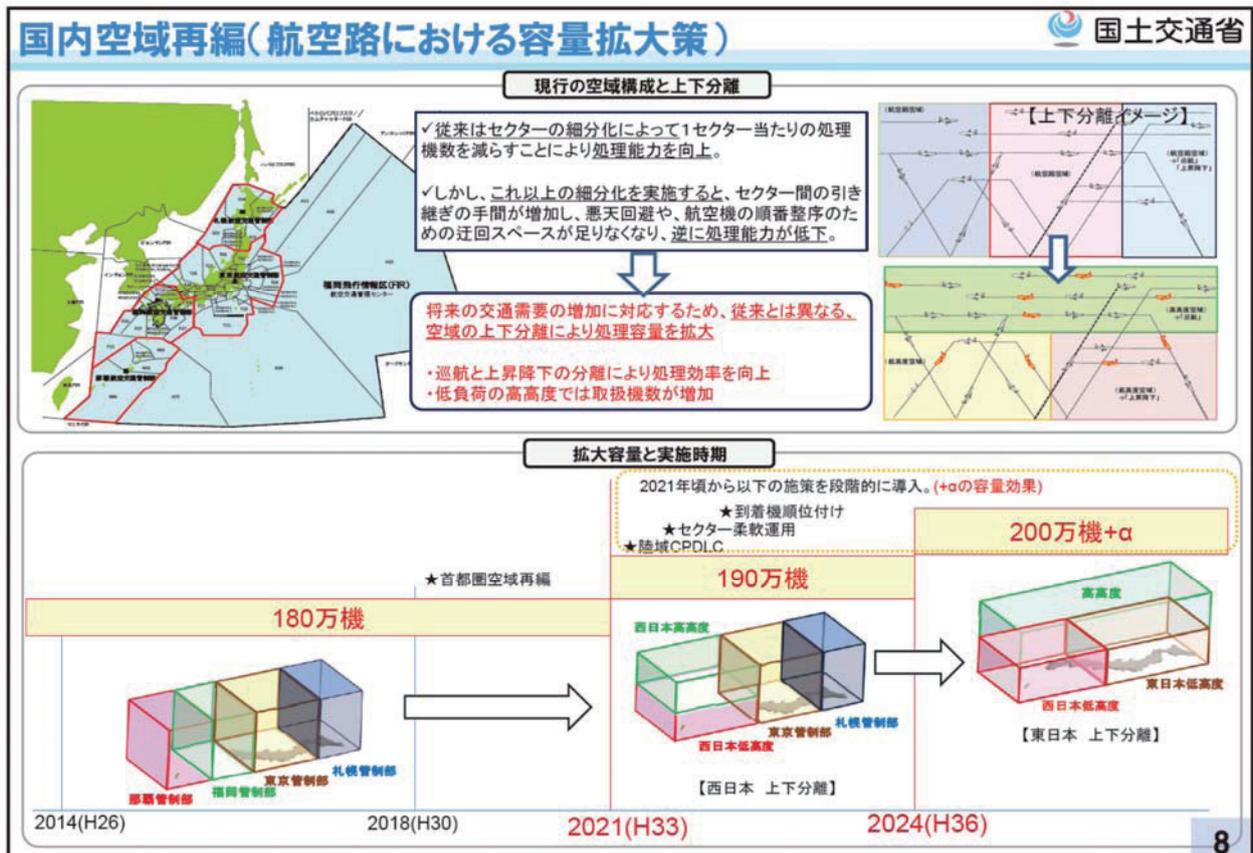
## データリンクの導入について -イメージ-



# 情報共有と協調的意思決定

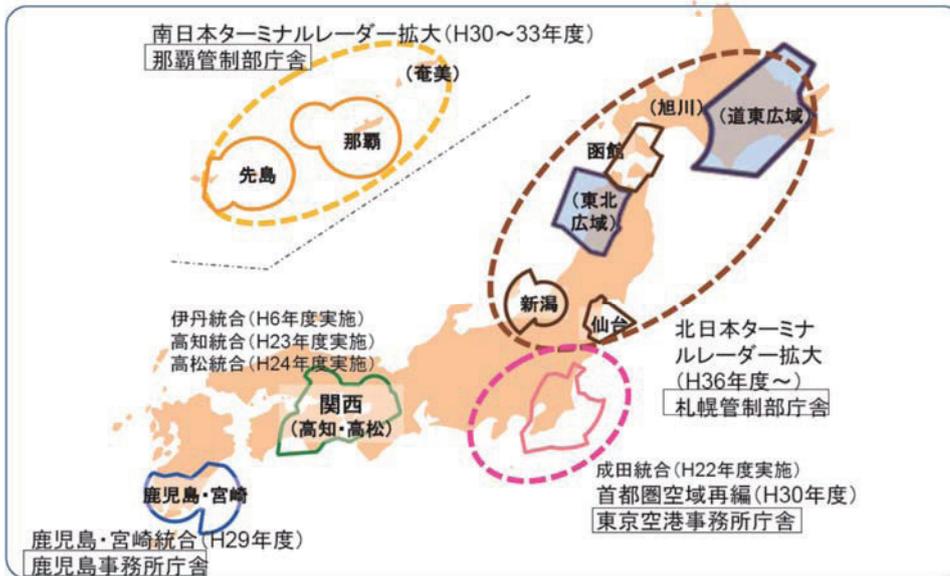


出典) 航空局 71



出典) 航空局, H28ATSシンポジウム

- 北日本、首都圏、九州南部及び南日本のターミナル空域を拡大・統合
- 管制部再編の後、北日本及び南日本の「広域ターミナル化」する空域を担う管制機関を新たに札幌並及び那覇に設置



出典)航空局, H28ATSシンポジウム

## 航空交通システムの将来計画:まとめ

### ✓ 軌道ベース運用

→将来飛行位置の精度の高い将来予測と軌道生成, 軌道の順守による運航効率化

### ✓ 航空機性能の最大活用 (GNSS航法, ADS-B・ASAS, 等)

→柔軟な離着陸経路設定, 自律的間隔制御

### ✓ 協調的意思決定 (CDM)

## 第5回 航空需要に対応した空港運用研究会 議 事 録

日時：2017年3月17日（金）15:00～  
場所：大阪キャッスルホテル

### 「関西圏空港・空域の運用課題と研究会とりまとめ（案）」

茨城大学 工学部 都市システム工学科 准教授 平田 輝満

#### ■はじめに

今回は、関西圏空港・空域の運用課題というテーマで最後を締めくくります。関西圏の3空港プラスアルファの空域で現在どのような航空交通システムの運用がなされているかの実態をなるべく正確に分かりやすく皆さんに情報提供していきます。

これは研究会ですので、最後はぜひ皆さんと一緒になるべく議論をしたいと思います。どんなことでもよいので、ぜひ議論に参加いただければと思います。

#### ■関西の3空港の距離

関空・伊丹・神戸の3空港は、お互いに約44km、26km、22kmの距離があります。この規模の空港がこれほど密集しているエリアは日本で他にありません。総トラフィック数を見ると関東のほうが多いですが、関西3空港もなかなか多い。

グーグルアースの写真をみると、空港の周りにぐると円のように山脈があるのが分かります。ひしめきあう3空港の滑走路は全て平行になっていません。都市部の騒音環境配慮という見えない壁もあります。空港が密集し、かつ周りが物理的、環境的ハードルに囲まれているという意味で、私が当初調べる前よりも運用は難しいなという印象を持ちました。今回調べて改めてそういう印象です。

結論から言うと、今のトラフィックだと、これらの制約条件をうまく回避しながら、それぞれ独立して運用できる形態です。ただ、今後増やしていくにあたっては、何かを変えないとおそらく遅延が増えたり、そもそもトラフィックがさばけない、という状況が出てくるかもしれないといった感触を持っています。

関空はA滑走路とB滑走路があり、後にできたB滑走路が4000mで、成田と同じ日本最大。伊丹もBが長くて3000m、Aが1828m。滑走路間隔が300数mです。伊丹は、以前紹介したとおり、クロスパラレル滑走路で、近接しているのではほぼ1本の滑走路と同じような運用をします。ここで1本着陸している最中に次の離陸をこちらから出せる。滑走路占有時間、一つの飛行機が滑走路を占有している時間ぶんだけ、少し容量が稼げます。

一本の滑走路よりは容量が稼げる素地はあるのですが、いかんせんこちらは1828mと短いのが一つの制約だと思います。しかし最大の制約は環境騒音影響と北部の山でしょう。ただ、滑走路間隔は300mあるので、間で一機待つことができます。

福岡で、もう一本つくる計画がありますが、伊丹とほぼ同じような形態です。福岡は滑走路間隔が210mでつくっており、間で飛行機は待てません。

## ■空港の発着回数・旅客数・容量比較

関西 3 空港と羽田、成田の東京圏、福岡、海外の 2 大混雑空港であるニューヨークとロンドンのデータ比較です。

関空で 17 万回くらい、伊丹で 14 万回、神戸で 2 万回くらいなので、関西圏のトータルでいうと 33~34 万回くらいです。

羽田、成田をあわせると大体 70 万回くらいといわれています。それを今、75 万回くらいまで頑張ろうとしています。

福岡は特に伊丹と比較できると思います。改めて調べると 2016 年で 17.6 万回でした。私が昔見た頃は 13 万回程度で、もうこれ以上増やせないといっていたところからまだ 4 万回くらい増えていました。最近福岡空港は法律上混雑空港指定されたので、スロットコントロールがこれから始まります。これからは便を増やしづらい状況になってきます。

実は今福岡が遅延の巣になっていて、福岡の遅延が伊丹にも波及して困っている、という話も聞きました。旅客数も 1200 万人で、伊丹よりもかなり多いです。

時間容量が、その昔は 1 本で 1 時間 32 回さばけるといわれていました。離着陸のバランスを変えれば、最大で 39 回までさばける容量はあったのですが、一方で福岡は北風運用と南風運用でかなり性格が違ってきます。どちらかが、滑走路の占有時間が長くて容量が落ちるのです。その容量の低い方に合わせています。ここにもう 1 本の滑走路を、210m という非常に近いところにつくって、滑走路の時間容量を 40 回まで上げようとしています。

40 回にすると、発着回数が 18~19 万回くらいになる計画ですが、もうすでにそれに近いところまで交通量が増えています。

福岡はさらに、今まさに関西で検討しているような次世代の航空交通システムや、新しいソフトの改善でさらに上げようという検討もあるようです。

後方乱気流関係でいくと、この Heavy 比率が大きいと容量上よくないのですが、その辺はあまり変わらないということになります。

伊丹の時間容量は、あくまでも環境制約で 1 日 370 回と決まっただけなので、技術的な容量でいうと、短い滑走路の影響を考えなければ、少なくとも福岡の 32 回/時間か、2 本に増設後の 40 回、あたりは射程に入るレベルだと思います。

## ■発着便数

関空、伊丹ともにピークがあり、神戸は政策的な容量制約がかかっているので非常に少なくなっています。将来的に、3 空港を足したときにどんな変動になるかが重要だと思います。今の最も多い時間帯は 7 時台で、関西圏では 75 回以上さばかないといけません。羽田一つ分の処理容量とほぼ同じです。羽田で今 4 本の滑走路、関西圏では、関空で 2 本、伊丹で 2 本、神戸で 1 本。伊丹はほとんど 1 本のようなものなので、それで羽田と同じような施設を持ち、羽田と同様の発着回数をさばいているという意味では、時間容量はかなり、ピーク時は厳しいところまでできているのかもしれない。

## ■飛行軌跡図・空港発着 (2014)

今日は、CARATS オープンデータという、航空局から公開されている飛行軌跡データの軌跡図をメインにお話します。青が伊丹の出発、赤が伊丹の到着です。山を避けて離陸し、東

西に飛んでいます。到着も東西から来て、和歌山の上空で最終進入に入って行くポイントがあるのですが、ここで全機が合流してくるので、ここに向けて必要な間隔を保つために、この辺りで右へ行け、左へ行けなどと誘導されるわけです。

誘導することをベクターといいます。ベクターされることによって、いろいろな地域の上を飛ぶことができます。将来的にはこれをなくそうというのが、前回お話した軌道ベース運用なのですが、短中期的には容量の処理効率を上げるには、いちいち間隔制御しなければならないので、ベクターはやはり必要になります。逆に言うと、こういう空域がないと、最後の間隔設定がうまくできないので、着陸容量上はさほど上げられないことになります。

その文脈からいくと、関空と伊丹でいうと、淡路島上空の飛行制限があるので、使えない空域があります。本当はこのへんをうまく使うと処理効率が上げられるのですが、そこを避けるように飛ばねばならないので、海上でしか誘導できないというわけです。

まだ今のトラフィック量だとそんなにニーズはないかもしれませんが、今後、混雑時間帯などの時間容量を上げるためには、この辺りの空域の誘導の制限を緩和することが必要かもしれません。

神戸は、伊丹の離着陸に使っている空域、関空が使っている空域が周りがあるので、針の穴を通すように明石海峡大橋の海峡を対面通行で出入りします。

## ■飛行軌跡図・高度（2014）

次の図は高度別です。暖色系が低く、寒色系が高い高度です。当然、空港に近いところの高度が低いのでこのような図になります。それをズームし、空港の使用滑走路別にした図もあります。東京よりもデリケートな飛行経路を設計していることがよく分かります。

ここから先は、空港ごとに、伊丹、関空、神戸の順番で個々の運用実態、その裏にある制約を説明します。

## ■伊丹の離陸飛行経路の例

機材の大きさ別（Wide, Nallow, Regional, Prop）に色分けし、どんな離陸経路を飛んでいるかを示しています。小さい飛行機ほど早く旋回できるので、しゅっと曲がっています。大きい機材でも大きく膨らむわけではなく、標準的な飛行経路が決まっているのでその通りに大体飛んでいます。空港の北部の環境影響が大きいので、小学校を避けようとするなどの取り組みが今まさに進んでいます。

着陸は南東から来るのですが、離陸してすぐ東へといけないときは、南東の方の着陸コースの上を越えていくというのはよくやる方法です。高度差が1000ft以上あれば着陸の上を越えて行けるので、ここはぶつかっているわけではありません。

西に行く便も、山の影響なのかどうか、私にはよく分からないのですが、南まで来て高度を稼いで海に出て神戸空港の上を抜けていくような飛行経路です。

伊丹の北側には山があります。離陸してから、中国自動車道の内側を回って、西に行ったり東に行ったりしています。十分高度が上がっているところから経路短縮を考えてやれば、神戸便の扱いもよくなるのですが、過去からの歴史で経路が決まっているのだと思います。

## ■Avoidance Flight of Mountains Areas at OSAKA INTL Airport

AIS JAPAN という、誰でも見られるウェブページに飛行方法のルールが書いてあります。「Avoidance Flight of Mountains Areas at OSAKA INTL Airport」、これは40分の1で表面勾配を引いていったときに、ぶつかることをハッチで塗ってあります。三角(△)が山の頂上です。これで見ると40分の1にひっかかるのと、40分の1でも十分クリアしているところがあることがわかります。

### ■伊丹の制限表面区域図

元ソースはすでに消されていますが、個人のブログに掲載されていた図です。伊丹の制限表面、この表面を越える建物は建てられないと航空法で決まっています。山の上は高い塔を建てても良いことになるので、そういうものを建てられるとその時点で北側の経路はできなくなる可能性があります。

### ■伊丹の機数制限／機材別の滑走路使用制限

AIPに載っていたものです。伊丹は1時間当たり離着陸合計36機までです。連続3時間でも93機です。1時間値(1時間当たりの容量)と3時間値(3時間当たりの容量)が、このAIP上で示されています。1日当たりは370機です。

さらに、着陸だけに限ると、1時間当たり20機までです。連続3時間では60です。このような制約下でスロットを決めるので、エアラインのダイヤ設計は、もしかしたら非常に苦しいところも出てきているかもしれません。

運用上さらに面倒だと思うのが、2本の滑走路ごとに使う機材が全部決まっていることです。小型機は短い滑走路、大型機は長い滑走路と決まっています。もちろん、性能上それで良いと言えば良いのですが、この制約を守りつつ離着陸の容量を上げていくのは通常よりも難しいかもしれません。

伊丹が色々な制約を抱えていることは、皆さんもご存知だと思いますが、改めて見てもよく分かります。

### ■伊丹の滑走路運用イメージ

大きな飛行機がB滑走路に、小型機がA滑走路に着陸します。そして大型機がB滑走路から離陸し、小型機がA滑走路から離陸します。離陸経路は離陸した先ですぐ合流して行きます。伊丹は北風運用が99%以上です。CARATSオープンデータを探しても、南風運用は見つかりません。

### ■関空：北風時、南風時の飛行経路

関空は海にあるので北風時と南風時で運用が逆転します。北風が吹くと南から着陸して北に離陸。南風なら逆です。着陸の方が必要な直線区間が長いので、どうしても着陸が容量上のネックになることが常です。その意味では、北風時は2本の直線区間が長くとれて、ベクターするエリアもあるということで、比較的運用は楽だと思います。

問題はおそらく将来的にも南風時だと思います。南風のときは北から入ってきて、かつ都市部を通れない、伊丹の離陸機がある、神戸の離着陸がある、それらの隙間を、淡路の飛行高度制限を守りながら入って行き、曲がりながら、最後は短い直線区間に入っていきながらで

す。

### ■関空周辺の地形

紀伊半島にも比較的高い山があるので、当然低い高度はとれません。淡路にも比較的高い山があるので、騒音影響以外にも物理的なバリアがあって高度を無制限に下げることはいけません。

### ■航空機の飛行経路 06運用、24運用

R-NAV が関空で運用される前のものなので、少し古いですが、南風のときの標準到着経路は24運用の通りとなっています。淡路島にハッチがかかっているのは、混雑に応じてベクタリングして、いろいろなところを飛ぶ可能性があることを示しています。この三角形部分だけと恐らく決まっているのでしょう。これは日本でもここだけだと思います。

首都圏と比べると分かりますが、関空の空域は非常に小さいスペースです。着陸する最後は、例えば5マイル、4マイル、3マイルと並べたいけれども、そんな精度で並べるために必要な空域としては心もとないと思います。

### ■関空到着

これは RNAV を使った標準到着経路 (STAR) です。南風時に着陸するときは、最後、4000 (BERRY) と書いてあるポイント、ここを 4000ft 以上で通過しなさいということです。「4000」と書いてあるのは、4000ft より下で飛ぶと、淡路をかすめる所がうるさいのか、ファイナルアプローチに持っていけないので、高度制限がついています。

また、南風のときも、淡路に入るときは 7000ft より下を飛んではいけないことになっています。これは騒音影響からでしょう。陸域を飛ぶときは 7000ft 以上というのは、非常に高高度です。

羽田では最低が大体 4000~5000ft 程度です。昔は 3000 でしたが、4000 に上がり、今は 5000 になって、羽田もだんだん関西空港に近づいています。関西空港は環境的には非常に優しい運用をしています。

陸域を飛ばないためには、全部海で行って、海峡を通って行く。羽田にも全部海上の経路があるのですが、そうすると非常に飛行距離が長くなるので、騒音影響の面は良いですが、CO2 などの温暖化ガス排出にとってはよくない経路です。

運用の制約が厳しいのは、北から着陸して、最終進入前の到着経路が共通だからです。滑走路は 2 本あるので、最後は B 滑走路と A 滑走路の ILS という着陸装置がついていますが、手前の、そこに接続する到着経路は、実は一本しかありません。2 本の滑走路があっても、結局は 1 本分の空域容量しかない。到着経路が 1 本しかないということは、滑走路容量はほぼ 1 本になってしまいます。

これを、羽田や成田のように、両方の着陸を同時にできれば当然着陸が 2 倍になるので一気に容量が上がりますが、そのためにはどうすればいいのかというクエスチョンが出てきます。

### ■関空の滑走路運用イメージ (混雑時)

これも CARATS オープンデータで見た、2015 年 1 月のとある日の、A 滑走路 B 滑走路をどの時間帯にどのくらい使っているか集計したものです。これを見ると、基本的にはターミナルに近い A 滑走路を使うことが多いです。色の濃い部分が A 滑走路、薄い部分が B 滑走路。薄い青色（B 滑走路の「出発」）が全然ありません。普通に考えると 4000m の B 滑走路から離陸するのがベストなのですが、それを使うニーズがないということです。

昔は、A 滑走路をひたすら離着陸に使い、メンテナンスのときに B 滑走路を使うといった運用が多かったので、A 滑走路の離着陸がバランスしていたようなのです。しかし最近ではトラフィックが増えてきて、1 本の離着陸でさばけなくなってきました。そこで離着陸を分離して離陸専用、着陸専用で、一段階容量を上げる。トラフィックをスムーズにして効率を上げるとのことだと思います。

### ■神戸の飛行軌跡（高度）

神戸空港は日本でもかなり特殊な空港です。関空と伊丹の飛行経路の真下にできてしまいました。二つの空港の下の空域をはいつくばって西側に出て行く。しかも淡路は越えられないので、みんなが共有する狭い海峡を同じように飛んでいきます。

### ■神戸の出発／到着

これは AIP に載っている資料です。西風のときは西に向けて離陸して行けますが、東風のときは一度東に出て、ぐるりと回って西側に出てきます。その先は RNAV TRANSITION で、絵のように回っていきます。また、陸域に入るときには 6000ft まで上がってからです。

到着は逆です。通常、空港は、場周経路（トラフィックパターン）が周りに引いてあります。それによって、最後は目視でぐるりと回って入ります。それに接続する到着経路もあります。

### ■神戸の離着陸処理の例：片側運用制約の影響

神戸空港の離着陸処理について、ある日の実際の事例で説明します。神戸空港の西側に SNJ26 便が 16:48:52 に、淡路の海峡の SHIOJI に到着しました。その後に AD0125 便が 16:53:00 に西に向かって離陸します。対面になるので、着陸が来ると、離陸機が待っていなければいけません。着陸が神戸空港の南側を通り過ぎる場周進入経路に入ったときに、神戸空港の西側が空くので、その瞬間に離陸機を出す、といったことをしていました。そして、出てから着陸して行きます。

いずれにしても、離着陸がこの空域を共有しているので、非常に容量が落ちます。滑走路の容量の上限はありますが、この運用だとまだまだ大丈夫です。

次のページですが、さらに複雑なものがあります。始めに SKY117 便が着陸して来て、ANA416 便が出て、次にまた SNJ30 が入ってくるパターンです。SKY が到着して、ANA が離陸するのを、ずっと待っている SNJ が神戸空港の西の離れたところでぐるぐるとホールディングして、みんなが出て行くのを待ってから着陸するパターンです。この場合、1 時間に 3 機しかいなくても、たまたまぶつかってしまうと非常に遅延することになります。

神戸の処理容量については、私の簡易な計算によると、離着陸同数の場合に、1 時間で 18

機くらいは今の運用方法でもさばけると思います。今神戸は1時間で3便なので、まだまだ増やそうと思えば増やせますが、ダイヤの張り方次第でこのようなことが頻繁に起きるので、非常に使いづらいし、たまたま大きな遅延が発生することがあります。

### ■神戸と関空の経路競合と飛行高度制限

関空の到着経路、特に南風のときの到着経路が、かなり高度を降ろしていて、神戸空港南側辺りですでに4~5000ftに落ちています。このあたりは、神戸の離陸経路や着陸経路の上なので、完全に重なっています。重なったときにどちらに制限がかかるかというと、神戸です。

神戸空港機の高度の色を見ると、神戸空港の南側ではずっと紫になっています。このあたりの上には関空便があるので1000~1500ftくらいそのままずっと上がれないのです。ずっと低高度で飛んで行って、関空便の制限のかかる空域から抜けてからやっと高度を上げられるわけです。

このように高度に制限があると、6000ftまでなかなか高度を上げられないので、陸域に入るところが空港からずっと離れたところまで引っ張られてしまう、といったことになります。この空域のせめぎ合い、高度の取り合いは、非常に厳しいものです。

### ■神戸-茨城便の飛行距離

スカイマークの茨城-神戸便の実際の航跡図を見てください。茨城空港は首都圏の第3空港、神戸空港は関西圏の第3空港という二つの空港の航跡です。首都圏の繁忙空域と関西の繁忙空域を避けるように、お互いに反対方向に出て行く航跡になっています。

直線距離では、神戸-茨城が501kmなのに、実際に飛行機が飛んだ距離の平均値は650kmなので、結構な遠回りをしていてかなり時間も燃料も食っています。

### ■空港間の飛行距離/直線距離

この表は直線距離に対して飛行距離が何倍なのか、という数値をまとめたものです。二空港間の飛行距離の最小値、最大値、平均値を示しています。神戸-羽田便は、実は茨城よりもすごくて、1.49倍です。伊丹-羽田は1.38倍なので、直線距離は長いのですが神戸便のほうがかなり迂回度が大きいことになります。

容量だけではなく、これからCO2排出の取引が始まるので、航空分野もCO2を削減していかねばならない中では、運航効率を上げていく努力が必要です。関西はまだトラフィックがまだ穏やかなうちに新しいシステムをどんどん入れて、日本を引っ張って欲しいと思います。

### ■関西3空港の運用制約

全体の空域でざっくりと制約を見ると、山を中心とした伊丹の地上障害物、経路の集中、騒音影響を考えた空域使用制限、こういった目に見える、あるいは見えない制約の中で飛行経路を引いているという実態が分かると、今後何ができるかを考えられると思います。

資料にはありませんが、忘れてはならないのが八尾空港です。八尾空港は、伊丹の着陸経路直下にあります。ジェネラル・アビエーションといいますか、ヘリや一般航空なので、基

本的に VFR という、目視で飛ぶ飛行機が使っています。

混雑空港には特別管制区、PCA (positive controlled airspace) が設定されており、ここは関連する飛行機以外は許可なく入ってはいけない、VFR は入ってはいけないという空域です。その真下に八尾空港の管制区があるので、ひたすら下をはいつくばって飛んでいるのです。

八尾空港は多いときには 1 日 200 機くらい飛んでおり、神戸よりもはるかに多い。ものすごいトラフィック量です。先ほどのレーダーの軌跡が出てこないような細かい飛行機が、実はこの空域を飛んでいます。

なぜこのようなことを調べたかという、災害時の空港の利活用について昔研究したことがあって、今回紹介した次第です。平常時の容量や効率性だけではなく、南海トラフなどの地震を見すえたときの非常時の対応策についてもぜひ皆さんには考えていただきたいというのが個人的な期待です。以上が関西 3 空港の運用制約です。

### ■ 関西 3 空港と首都圏 2 空港の配置比較

同じスケールでそれぞれの位置関係や空域の取り合いを見ると、羽田ー成田も厳しいとは感じていましたが、交通量の差はあれ、関西も厳しいですね。同じように湾がありますが、首都圏は平地で山もそれほど高くありません。環境対策で 4~5000ft くらいの高度の制約はありますが、ベクターは自由にできる環境にあります。

### ■ 関西～関東

関西から関東の航跡図はこのようになります。これを見て分かる通り、羽田に来る飛行機が一番混んでいるのは空港の近くではなく、実は東京湾の少し手前で非常に遠回りをさせられます。東京進入管制区に入ってから少し微調整があるので、このくらい広い空域で到着管理をしているのですが、伊丹、関空はそれぞれ狭い範囲で管理しています。伊丹と関空のさばき方を実際に見たわけではないので分かりませんが、この軌跡だけを見ると、羽田はこれだけ広いところでさばいていて、関西は狭い範囲でさばいていることになります。もちろん混んでくるとその手前でやらざるを得ないので、同じようなことになるかもしれません。

### ■ 首都圏の実際の飛行軌跡 (2014)

首都圏を拡大した図です。南風時、北風時で違うのですが、関空のようにあるスポットを抜けるようなものはないことがお分かりいただけるでしょうか。当然、環境配慮の運航をしているいろいろやっているのですが、細かいこともあるのですが、「この上は絶対に飛んではいけない」といったものは意外とありません。

都心上空は非常に高度が高く、2 万 ft 以上なので、音はほとんど聞こえないレベルです。

従って高高度の軌跡を外すと、ここは真っ白になって、非常にクリアな空です。しかし、今、北から着陸を入れて離陸を上げようと、検討している段階です。

### ■関西と関東の比較

凡例の色が違って分かりにくいかもしれませんが、何となく違いを分かっているかな、と思います。この関東のトラフィックが関西に来ると、おそらく今の狭い空域だとかなり厳しいと思います。

### ■関西3空港とNY4空港

関西3空港の密集感に近いのがニューヨークのメジャー3空港+ジェネラル・アビエーション（ジェネアビ）空港のテターボロ空港（TEB）です。アメリカは一般航空や自家用機が多いのでジェネアビが多い。テターボロ空港は羽田よりも飛んでいるくらい、非常に大きな空港です。従って、八尾空港を加えると、関西はニューヨークと非常に特色が似ています。

しかし、ニューヨークは空域制御があるわけではなく、好き勝手に飛べるので、間に挟まれたラガーディア空港(LGA)は、細いところしか通れないので、神戸みたいなものです。離陸は高度を稼いでからテターボロ空港の上やニューヨーク JFKの上を飛び越えていきます。比較的アクロバティックではありますが、空域が自由に使えるので、引こうと思えば引けるのです。

### ■複数空港の近接性と、出発到着時刻の設定

これは、非常に近いところの離着陸をどうさばくかの例です。テターボロ空港（TEB）の着陸経路のすぐ横に、ニューアーク・リバティー空港（EWR）という大変大きな空港から、離陸機が出てくると、離陸機のすぐ隣を着陸機が飛んでいることになります。着陸機の高度がだんだん下がっていくところで、離陸機がだんだん上昇し、2500ft まで上がって、相手が1000ft まで下がったところに、その上を飛び越えていくわけです。

近いからといってできないわけではなく、設計すればうまく高度処理でさばけるという例です。もちろん日本でもやっていますが、こういう工夫は簡単に考えられます。最低高度間隔が1000ft あれば良いのです。

### ■関西圏空港・空域の運用上の主な制約～まとめ

関空、伊丹、神戸の順に、今申し上げた運用の制約を改めて記しました。

関空は陸域飛行高度制限が空港の東側、北側、および淡路にあります。高度処理のために、飛行距離の延伸をさせられていて、使用空域制限のため空域混雑するため離着陸の飛行誘導が厳しいです。北から着陸するとき、平行滑走路に同時離着陸する経路は今では引けません。これが関空の最大の将来的なバリアだと思います。せっかく立派な滑走路が2本あるのに、今のままではその能力を最大限に発揮できません。滑走路の運用は空域とセットだからです。

伊丹は騒音規制からくる運航機数の総量・密度・時間制限があります。また滑走路ごとに機材が決まっています。そして空港北側の山地が地上障害物で、これは大きいです。今日は紹介しませんが、南風運用時は神戸のような運用になるので、かなり容量が減ってひ

どい遅延を招くそうです。たまにしかないのですが、この影響をどう軽減するかは考えられると思います。

神戸は政策的な機数制限、西側片側運用、関空との高度の取り合いによる飛行高度制限があります。

### ■関空・伊丹の出発走行時間の遅延（推計値）

今年度、飛行遅延についてかなり細かく調べました。どの空港が遅延の巣になっているかなどを調べるためです。日本の遅延のデータを見ると、7、8割が機材繰りで遅れているとなっています。機材繰りといっても、真の遅延理由がその前にあるだけで、それが実は何なのかを調べる研究をする中で、いろいろデータを集めました。

これは、時間帯別の空港の地上走行遅延、要は各スポットから各滑走路に行く最短時間からどのくらい遅れているかを示すデータです。滑走路の混雑による離陸待ちのような時間です。これを見ると、関空や伊丹はあまり遅れていないと思いました。実は関空も、朝方の出発ピークだと思うのですが、滑走路の離陸待ちが発生していることがわかりました。同時離陸ができれば一気にこれは解消するのですが、ピーク時には時間容量は関空もすでに厳しいところまできている可能性があります。滑走路の向きが変わっても同じような傾向があります。

世界No.1の定時性を誇る伊丹も、南風のときは、サンプルは少ないのですが、やはり通常時と比べて非常に遅延が目立っているのが分かります。

### ■単一滑走路の容量の試算

伊丹の大型機比率、関空の大型機比率で、滑走路1本で離着陸の比率を変えたときに、最大どれくらいさばけるかを簡単に計算したグラフです。先ほどのような制約が入っていないので、単純な計算です。計算上は、1本当たり1時間38回くらいはいけるので、伊丹でいえばもう1本Close-Parallelの滑走路があるので微増はすると思います。先ほどの福岡を見ても40回なので、今の技術で頑張っていけるのは、このくらいのオーダーだと思います。

関空は、もし同時離着陸ができれば、76回は可能です。今は45回まで行えるので、おそらく離着陸分離でも普通は30回・30回程度は可能なので60回程度までは可能と思います。ただし、着陸に関しては1時間30、31回という、羽田・成田のレベルだと思うと、やはり到着の誘導の空域が必要になってくる可能性があります。羽田も一時期、空域の運用条件の影響で31回から28回まで着陸容量を落とした時期があるので、そのくらいのロスが発生しうるわけです。

### ■関西3空港の運用課題

次世代管制・運航システムの積極活用。これはどちらかというと短期から長期という感じで書いたイメージです。冒頭も言いましたが、関西圏で急に容量を増やさねばならないというニーズはおそらくありません。ただ時間容量を上げるニーズがあるので、そこは首都圏で考えているような限定的な制約緩和で容量を上げるという方法があると思います。何より

も、余裕があるうちに新しいシステムをどんどん試行し、関空でもものにして、それを日本中に広げていく役割をぜひ発揮してもらいたいと思います。GBAS など、一部すでに行っている、どんどん積極的に進めて欲しいです。

騒音影響と陸域高度制限。これが主な課題になってくると思います。運航効率改善と処理効率改善のニーズと比較考慮しながら議論していく必要があります。

関空と神戸の近接性と経路重複。これは、いろいろ考えられるとは思いますが、陸域飛行制限と関連する課題は当然あります。逆に、もう同じ空港だと思えば、実は一体で従属運用した方が良いのではないかと思います、これはかなり個人的な意見です。

3 空港の需要ニーズに応じた運用規制の見直しに関連した必要性検討や技術検討。見直しの必要性の議論と同時に、今申し上げたような現実の実態、客観的なデータを正確にみんなで共通に理解して、それを元にした技術検討は、誰かがどこかでやっていくべきです。これは関西空港調査会の使命かもしれません。基本的には行政が行うのですが、セカンドオピニオンも重要です。海外では空港会社が行い、行政が行い、民間シンクタンクが行い、といろいろ出てきて、意見を戦わせる例もあります。そんな風にやってもらえれば良いのではないかと考えています。

3 空港運用に関する長期的視点に立った方針、関西地域全体での問題意識の共有、経済発展と環境影響のバランスの考慮、地域における騒音負担のあり方の議論、次世代航空交通システムなどの新技術の積極的活用による運航の効率化と環境影響の軽減など、多面的な検討を進めていくことが重要です。シドニーのノイズシェアリングの例もありましたが、そういう視点も重要になって来るのではないかと、個人的には思っています。

先ほど申し上げたとおり、プラスアルファで有事の際、大規模災害時の対応もぜひ検討して欲しいところです。災害管理に関しては、八尾空港は災害時に、2本あるうちのB滑走路を全部スポットにして、全国のヘリを集めて、災害救助の基地にするといったことを考えています。

## ■東海道新幹線途絶時の航空代替輸送

去年、私の研究室でやった研究ですが、東南海・南海トラフで、もし東海道新幹線が1、2カ月不通になったらどうするのかというものです。起きるかどうかわかりませんが、一応政府では強靱化計画で、東西分断を起きてはいけない事例の一つとしています。大動脈が切れたときにどうするのか。切れたときにはやはり、航空代替輸送が過去、阪神大震災でも中越でも東日本でも行われましたが、輸送量の桁が違います。お客さんをどう運ぶか。航空でどれくらい運べるかを試算しました。羽田、大阪、神戸に追加的にかかる代替輸送の需要は、1日当たり8万人。空席があるので、それを差し引くと大体、羽田で6万人くらい、関西圏で2万~4万人くらいの需要が新幹線から来ます。車を使う人や、旅行を取りやめた人などを差し引いてこのくらいです。

具体的な路線、ある一定の仮定でどんどん配分していくと、東海道線に乗っているのは大阪-東京間のお客さんが多いので、羽田-大阪便や羽田-神戸便、羽田-広島便といったところが非常に大きくなってきます。

羽田は空港容量がほとんどないので厳しいのですが、成田は空いている時間が結構あります。伊丹も技術的には少し空いているし、神戸も空いている。関空も使えます。ただ関空

は津波をかぶるリスクがあるので、関空が短期的に使えないときに伊丹と神戸でどのくらいカバーできるかという空港の検討と、実は厳しいのは機材制約です。エアラインはそんなに急に飛行機を持ってこられません。これもネックになります。

一つ考えたのが、成田の国際線、関空の国際線で、国内で6時間以上ステイしている機材がかなりたくさんあることです。これを使い分けると、羽田には入らないですが成田から伊丹、成田から関空、成田から神戸を結んで首都圏と大阪間の需要をどのくらい運べるかを考えたわけです。

外国の機材が国内線を飛ぶのは、カボタージュ規制という規制を外さねばならないのですが、臨時で外す前提で考えて経済的損失の緩和効果をはかると、1日当たり4億円くらいになります。1カ月なら、代替輸送で124億円くらいの経済効果あるという試算になりました。

### ■観測された「遅延」を「オリジナル遅延」と「波及遅延」に分離する

これは先ほどの、波及遅延です。関西空港の遅延のおおもとがどこから発生しているかというシェアです。自分自身の空港が当然最も多いのですが、関西空港の遅延の原因空港としては、成田、那覇、新千歳が多いです。伊丹なら羽田が多いです。こうした原因空港は分解して分かるようになりました。どの路線、どういうところで遅延を切ればトータルの遅延が減るか、といったことも、このようなデータで分析できるようになりました。本日はこれで終わります。

〔質疑応答〕

○ 近いうちに、神戸空港は関西エアポート、オリックス、バンシ・エアポートの運営になるとみられます。そして、神戸空港は関空の3本目の滑走路になると考えられています。関空のキャパが一杯になった場合に新たな滑走路を何千億円とかけてつくることを考えれば、神戸を利用すれば良いという意見があります。

神戸空港は1日30便往復という制限があつて、これを改善できないのかと航空局に聞くと、地元との協議でそうなっているということです。関経連、あるいは関西広域連合も、規制の緩和を考えるべきだという発言が日に日に強くなってきています。

そこで、例えば、伊丹の場合は時間制限もあつて、国内線の運用に限定するという状況なので、神戸に国際線を置いて、関空の3本目の滑走路にすると考えた場合、神戸と関空の空域の問題があります。

この辺を見直していくとすれば、どんな課題があるのかというのが、私たちの今後の検討課題だと思います。それに関して、今日のお話の中で少しヒントになるようなことがあるのではないのでしょうか。

→ 関空、伊丹、神戸をそれぞれ完全に独立で制約なしで運用できるような空域を設計するのはおそらく厳しそうなので、関空の3本目という見方から言えば、一体的に連動させて運用する方法も一つの考え方かもしれません。

神戸の管制塔の管制官と、関空の管制塔の管制官を合同にする。トラフィックが少ない空港が対象だと思いますが、最近ではバーチャルタワーといって、管制官が遠くの管制塔のビデオを見て、その管制を行う時代です。神戸空港を、まさに関空の第3滑走路と見て連携させるようにすれば、飛行経路や高度の制約を緩和した運用ができるかもしれません。

○ 資料の中で、関西3空港とニューヨーク4空港の図がありました。似ているけれども、便数では圧倒的な違いがあります。ニューヨークは一体的に従属運用のような形で運用されているのでしょうか。ニューヨークではどういった運用がなされているのでしょうか。

また、これだけの差があるということは、環境制約や高度制限なども、ニューヨークの方が日本に比べてかなり緩やかなのでしょうか。

→ 複数の空港を一体運用でやっているのか、というところは、例えば、JFK以外の空港がJFKの第5、第6滑走路のような感じでの一体運用は行っていません。

しかし、風向きによって飛行経路は当然変わります。トラフィックが多い中でやっているの、どこかの空港だけが変わるとだめなので、ニューヨークの空域を管理している管制官が一斉に変えています。そういう意味では一体運用です。

日本でそれをやっているところはおそらくありません。成田では独立して、北風・南風で変えられるような空域設計をしていると思います。関西もそうで、関空、伊丹は独立で変え

られます。片方が南風になって片方が北風になっても大丈夫な余裕を持っています。

最近の飛行機は追い風や横風に強くなってきているので、機材の性能が良ければ少しの風なら大丈夫だと思います。そういうことはしやすくなっているのではないのでしょうか。

2点目ですが、処理効率を上げるための工夫をしています。ニューアーク空港 EWR については、南風するとき、もともと市街地上空を避けるような離陸経路を1本引いていましたが、遅延が出ていたので、時間を限定して、朝晩のピーク時だけ都心上空ルートを複数引いて、離陸経路を分けて離陸容量を上げるようにしています。

ニューヨークの空域再編を2000年から2010年くらいにかけて行いました。それ以前の空域はぐちゃぐちゃでした。離着陸も、離陸して2000ftでずっと飛んで、ある空域を越えたら3000ftに上がって、といった、非常に非効率な空域制限を何十年も変えて来なかったのですが、それを次世代の航空交通システムに入れられるような大規模な空域再編をしたのです。

空域再編をするということは、離着陸経路が全部変わるので、騒音影響のマップも非常に変わります。今まで全然飛ばなかったところに急に飛行機が集中したり、今まで飛んでいたところが静かになったりと。反対運動もかなり広域で出ます。騒音は、どこかが良くなるとどこかが悪くなります。それをなるべく争点にしないように、ニューヨークはしたそうです。

容量を上げるための全体の空域の最適化、飛行経路の設計を行いつつ、各空港で細かく処理容量を上げる工夫をセットですれば、全体の容量が上がっていくと思います。

○ 関空の場合、全体計画で横風用の3本目の滑走路というのがありますが、もしできた場合、今の状況は変わるのでしょうか。

→ 私も初耳なのですが、新しい滑走路を使うことによって、今まで使っていた空域が空くようになれば、神戸がフリーになったりするかもしれません。

○ かなり有効でしょうか。

→ 費用対効果の問題だと思います。新しい滑走路を作る前に、今の施設でどこまでできるかの見極めが必要です。現時点ではニーズが少ないと思います。

○ 資料46ページの「関空・伊丹の出発走行時間の遅延」の説明をもう一度お願いします。

→ 元データは、「Flight Radar 24」という、ウェブで公開している軌跡データです。スポットから離陸までの時間をとって集計したものです。平均値が黒いダイヤです。データのばらつきを長方形の上と下で表しています。赤と青の境界の線が中央値です。

伊丹は定時性が非常に高い。この間も視察に行ったのですが、エアラインのスタッフは非常に努力をしていると思いました。すごいオペレーションをされていました。

○ 私は、伊丹の南風の時の運用を経験したことがないのですが、どうなるのでしょうか。

非常に遅れるというのは、どこがでしょうか。着陸するとき、空港の北側から直線進入できないので、西側からぐるりと回って入ってくるのでしょうか。

→ 南風するとき、着陸機は南側から入って来て、滑走路が見えたらサーclingして着陸します。離陸は空域をシェアするので、先ほど神戸の例で言ったように、私の計算だと時間当たり 15~20 機くらいの処理容量しかないのです、そうすると 1 時間 20~25 機になるともう大パンクして一気に遅延してしまうのでしょうか。

○ 複数空港を一体的に経営することによって、路線配分が可能になります。空港経営者が、どこの空港にどのような路線を配分するかを決定できるようになります。それで空域の混雑解消に何か影響を与えるような可能性はありますか。

あり得ないでしょうが、例えば、東行きの便は伊丹から出し、西行きの便は神戸から出す、という極端なことを考える可能性はあるのでしょうか。

→ 方面別滑走路みたいなものは各空港でやっています。羽田でも、この滑走路は東行き、この滑走路は西行きとして空域の混雑を避けています。

その延長上に空港で使い分けるといのは、程度問題はありますが、考えとしてはあり得ると思います。

○ 一体運用で関空と神戸の空港を一つの空港だと思って、管制官同士でコミュニケーションをとって行うことも可能かもしれないというお話がありました。

関空、神戸だけで無く、伊丹まで含めて考えることはできるのでしょうか。そこまで広げて考えることが果たしてリーズナブルなのでしょうか。あるいはデメリットのほうが大きくなって、それはちょっとリーズナブルではないということなののでしょうか。

→ 関西の 3 空港を一体的な従属関係にすると、全体の容量は落ちると思います。落ちるのですが、今のトラフィックは限界までいっていません。また、伊丹の夜がないとか、関空で国際が主になってきたときに、時間帯別にそれぞれの空港のことを考えると、全体の交通量がモデレートだから、従属運用して飛行経路を最短、要は容量の最大化ではなくて、飛行効率の最大化を考えることができます。目的関数を変えたときにそういう運用オプションを持っておくと、世界にはない面白い運用になるでしょう。

○ 今回のとりまとめだと、制約のトーンが強すぎるので、もう少し工夫が必要だと思います。神戸の位置づけも含めて、前提が変わったということ踏まえて、どういう表現をしていくかです。いろいろな工夫をすれば、制約が制約でなくなるわけです。今はこういう制約があるのは事実ですが、前提がすでに変わっているのです、少し工夫をしていった方が良いのではないのでしょうか。とりまとめの表現としてという意味です。

それから、単一滑走路の容量の試算 (P. 47) というデータは、間違っているのではないのでしょうか。滑走路占有時間 (ROT) が羽田のデータという前提ですが、Heavy の比率が 25%

と 37%で、同一の時間値ではおかしい。当然 Heavy が大きくなると、容量が落ちてくる。単一滑走路の容量の試算というタイトルでこのデータを使うとおかしいということです。一般的に見ると分かりにくいので、表現を変えるなりしないと理屈に合わないと思います。

→ これは、以前羽田の容量算定で使用されていた方法与滑走路占有時間で計算しており、着陸の占有時間が 115 秒程度で計算しています。この専用滑走路の着陸容量は、後方乱気流間隔 120 秒を考慮していないため Heavy 率に依存しないのです。

本来は、後方乱気流間隔を含めた飛行中の最低間隔と、滑走路占有時間の大きい方を連続する機材の組み合わせごとの発生確率で重みを付けて計算すべきところです。占有時間が 120 秒より大きい、もしくは近い場合には容量算定上それほど大きな影響はありませんが、おそらく現場のかたが見たときに違和感があるのだと思います。

○ また、「離着陸分離運用では容量の少ない着陸に合わせると 62 回/時」とありますが、これは関空のことをいっているのですか。

→ Heavy が関空と同程度の率だというだけです。特に関空の物理的な制約などは考えていません。関空だとかは、書かないようにします。これは、離陸専用、着陸専用で 2 本オープンパラレルになったときには、単純に、ここで言えば着陸が 31 回さばけて、離陸が 35 回さばけるので、少ないほうに合わせると  $31 \times 2$  で 62 回という掛け算をしているだけです。

○ 一番分かりやすいのは、例えば、神戸空港の便数制約などは確実に無くそうと思えば無くすことができる。今はこうだが、いろいろな制約条件を取り払ったときに今後どうなるのだろうかと考えるべきです。いろいろ新しい技術も入れて、もう一度デザインし直したら、どんな姿になるかというのは、おそらく皆さんも相当興味を持っていると思う。そういうことがまだ十分行える余地がある中で、あまりにも制約を前面に出すと、もう先がないのかなと思ってしまうのではないかと思います。

運用課題の中で、今後課題としてこういうことをやっていかねばならない、ということはまとめられており、まったくその通りだと思います。これをやっていくにあたって、やればどのような変化が出てくるかというのがテーマになると思うのですが、明らかに今の制約は相当外せると思うので、どこかにそういう表現を入れておいた方が良いと思います。

具体的に経路をどうするか、技術的に何便飛べるとか、そういうものはここで書けないと思いますが、工夫をすればまだまだできる余地はある、というようなニュアンスを少し入れてはどうかと思いました。

→ ありがとうございます、貴重なサジェスションをいただきました。私もあまりネガティブな印象を持たせる気もないのですが、確かに今日の資料だけを見ると、あまりに制約、制約と言いつぎているところがあるので、表現を工夫してみます。とりまとめを書いた後にもう一度チェックしていただけるとありがたいと思います。

○ 「機数制限」などの表現や、「制約」という表現を和らげたらどうかという意見でした

が、私は「陸域飛行高度制限」のところがわかりにくいと思いました。今の空域使用制限は今日の資料だと淡路島の南部、泉州地域、大阪湾岸の3つありますが、この空域の使用制限が、経路の集中とか経路の競合にどんな影響を与えているのかが少しわかりにくいと思いました。

例えば、関空や神戸空港の滑走路の位置決定は、むしろこの空域使用制限を前提として決められていたのではないかと思います。そうであれば、元々この空域は、使用してもあまり影響はないということで滑走路の配置が決まっていたのではないかと、という気がしました。もちろん何らかの形で影響しているとは思いますが、この空域の使用制限を解除することによって、経路の集中がこういう形で緩和されることとなりますよ、といったことが少しでも表現されていないと、何となく違和感が生じると思います。

私はまちづくりの担当を長くしていたので申し上げますと、飛行機の運用からいうところの高度制限は、低いところを飛ばせて欲しいということなのでしょうが、逆にまちづくり側から見ると、もっと高いところを飛ばしてほしい。それは環境配慮ではなく、まちづくりの発展という意味です。例えば大阪都心の、うめきた地区、グランフロント、あそこは190mしか建てられないという、建物の制限がかかっています。それは必要な制限だとは思いますが、やはり、そういった制限緩和的な議論も、研究会の趣旨とは違うかもしれませんが何らかの形であった方が良いのかなと思いました。

→ この研究会では、事実関係だけにしたので、皆さんに違和感を与えてしまったと思います。あくまで事実を淡々と述べて、今後どうするかは別の機会に譲りたかったのです。

空港設置のところまでは、私も調べていないのですが、おそらくこういう空域を使わなくても良いように考えて設置したのだと思います。しかし、このとりまとめでは、あまり細かいところに踏み込んでいくことは避けたいと思います。

→ この研究会の趣旨は、空域制限を外せという趣旨ではありません。一応現状は現状として、制限があるところは押さえませんが、そこからの検討はこの研究会では行いません。

→ 現場の事情は教えていただいて、資料の加筆、修正、削除はぜひやっていただきたいと思います。

→ 一体運用すれば可能性があるということは、非常に大きなポイントになるので、そこは強調してまとめていただきたいと思います。

以 上

## 関西圏空港・空域の運用課題

平田 輝満

茨城大学工学部都市システム工学科  
terumitsu.hirata.a@vc.ibaraki.ac.jp



### 研究会の予定

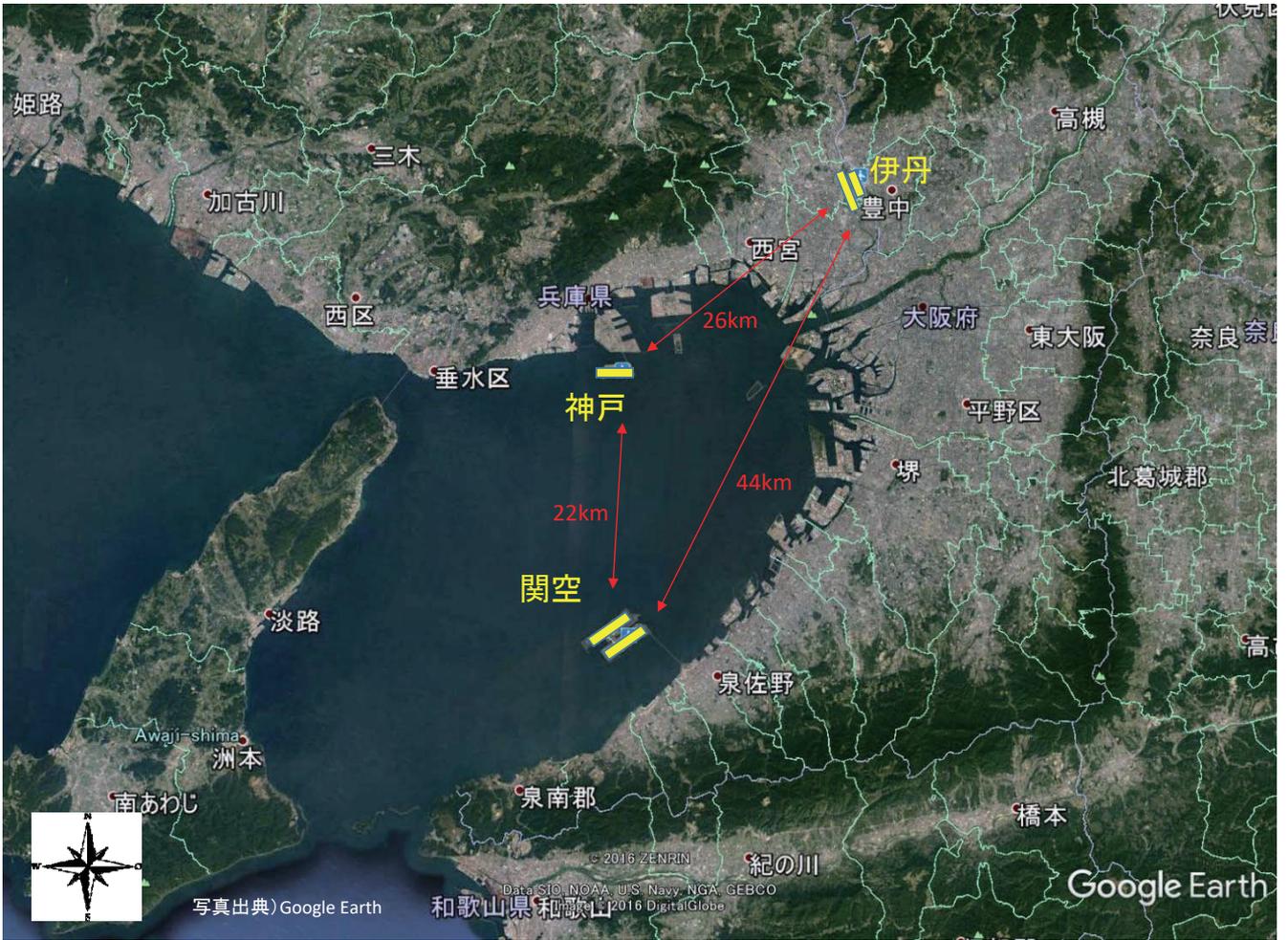
第1回 「首都圏空港の容量拡大に向けた取り組みと課題」2015.11.27

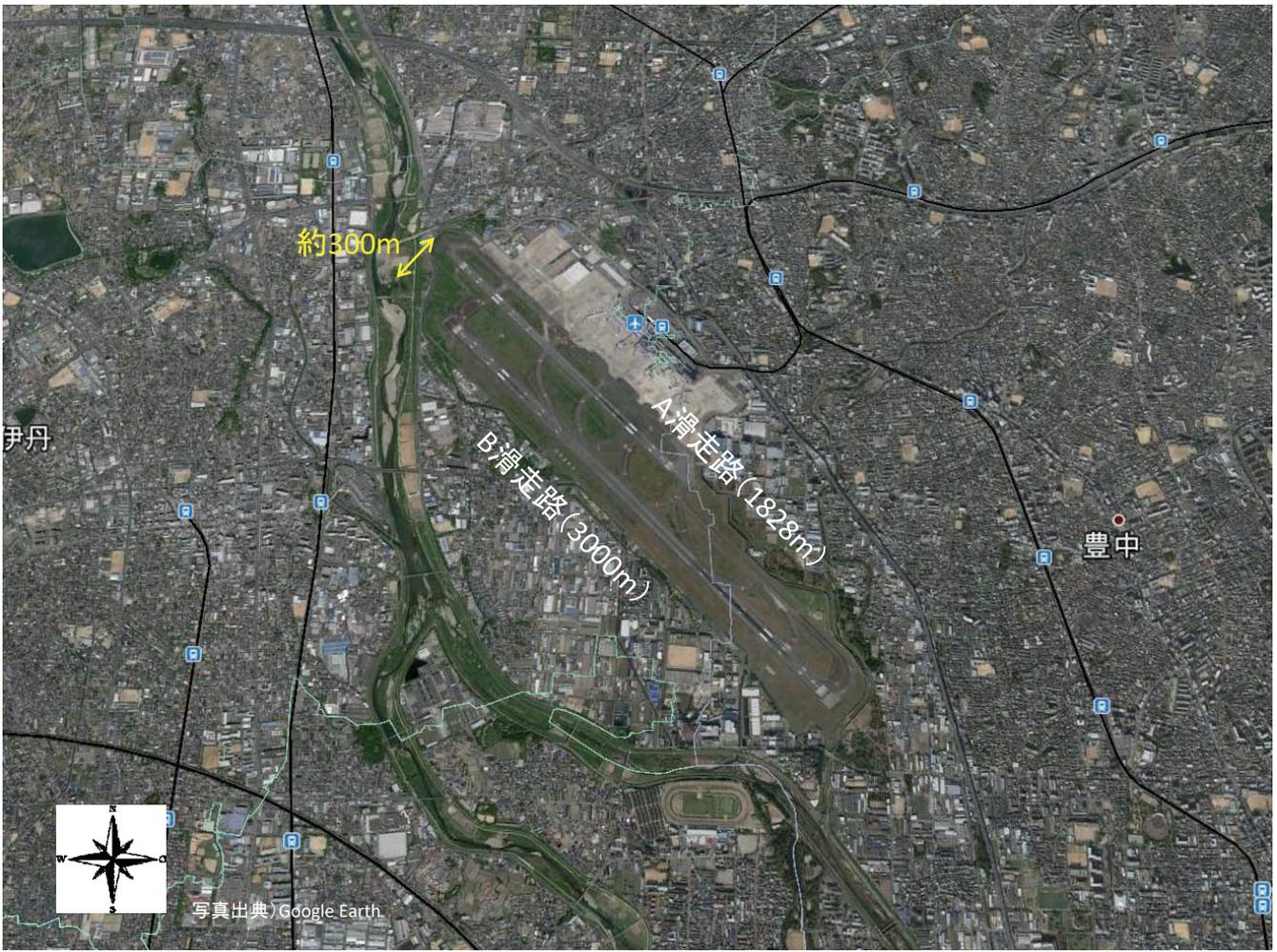
第2回 「混雑空港における騒音対策」2016.3.4

第3回 「滑走路処理容量の考え方と容量拡大方策の事例」2016.10.14

第4回 「次世代の航空交通システムと空港運用への影響」2016.12.2

第5回 「**関西圏空港・空域の運用課題**」2017.3.17

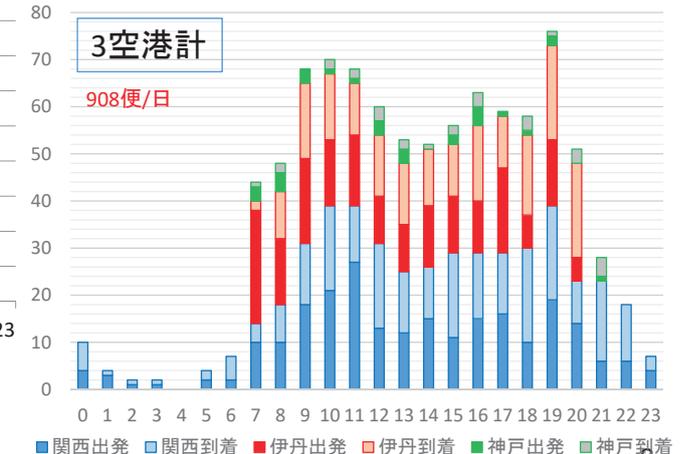
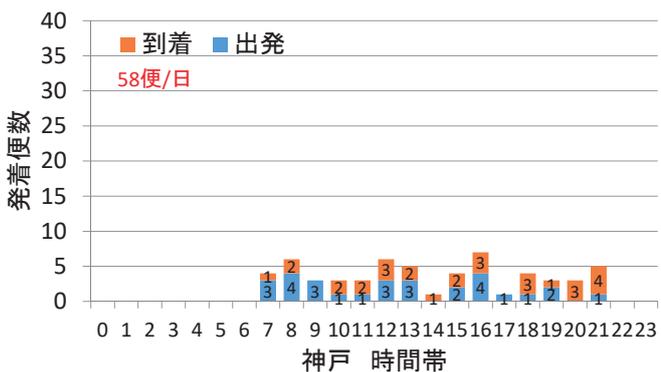
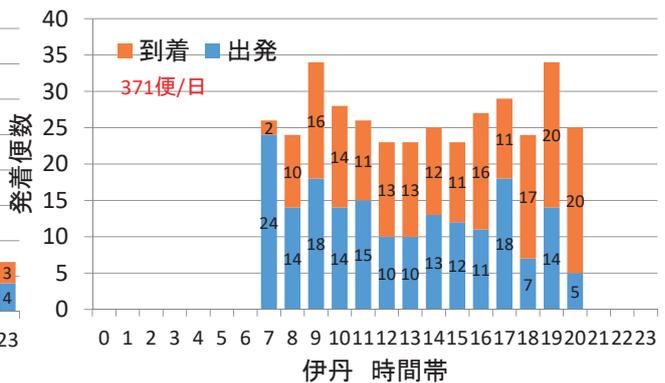
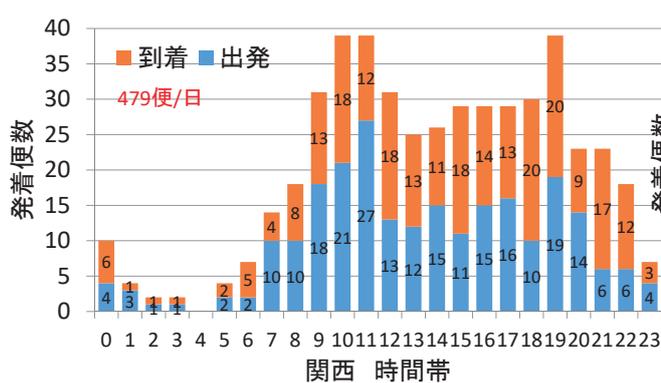




# 空港の発着回数・旅客数・容量比較

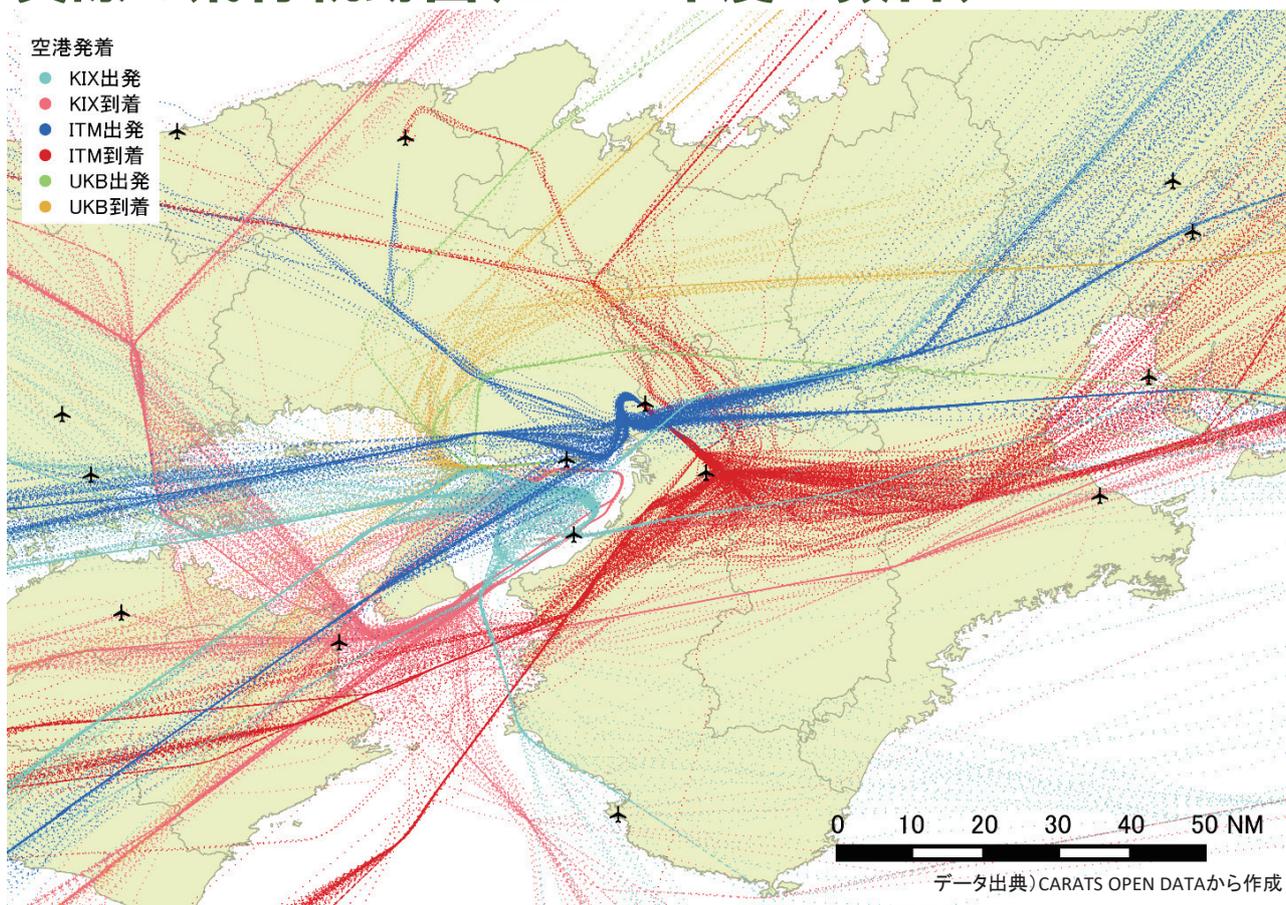
	関西圏(2015年度)			東京圏(2015年度)		福岡(2016)	NY首都圏(2014)			ロンドン('13)
	関空	伊丹	神戸	羽田	成田	福岡	JFK	LGA	EWR	ヒースロー
滑走路	2本	2本	1本	4本(交差)	2本	1本→2本(210m間隔)	4本(交差)	2本(交差)	3本(交差)	2本→3本?
発着回数	16.9万回	14.0万回	2.7万回	43.9万回	23.5万回	17.6万回	42万回	37万回	40万回	47.2万回
旅客数	2400万人	1460万人	253万人	7500万人	3794万人	約2200万人	5300万人	2800万人	3500万人	7200万人
滑走路容量	45回/時	370回/日	60回/日	80回/時→83→90?	64回/時→68	32(~39)回/時→40回/時	87回(好天時)~67回(悪天時)	85回(好天時)~74回(悪天時)	92回(好天時)~66回(悪天時)	78回
大型機Heavy比率	35%?	25%?	5%?	約45%	約65%	約35%?	約45%	約10%	約20%	約30%

## 発着便数(H29.3ダイヤ)

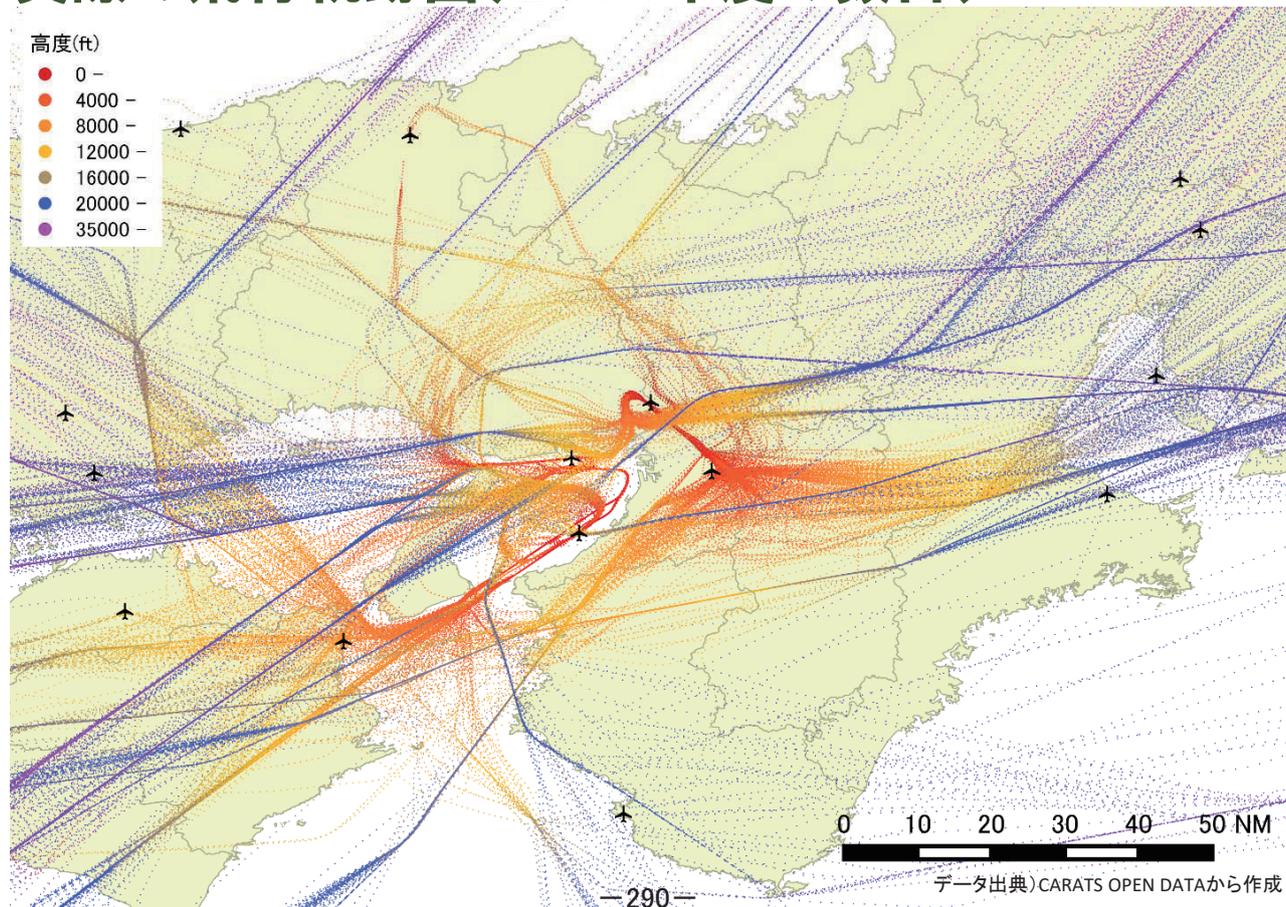


出典) 空港会社WEBから集計(数便程度の誤差の可能性あり)

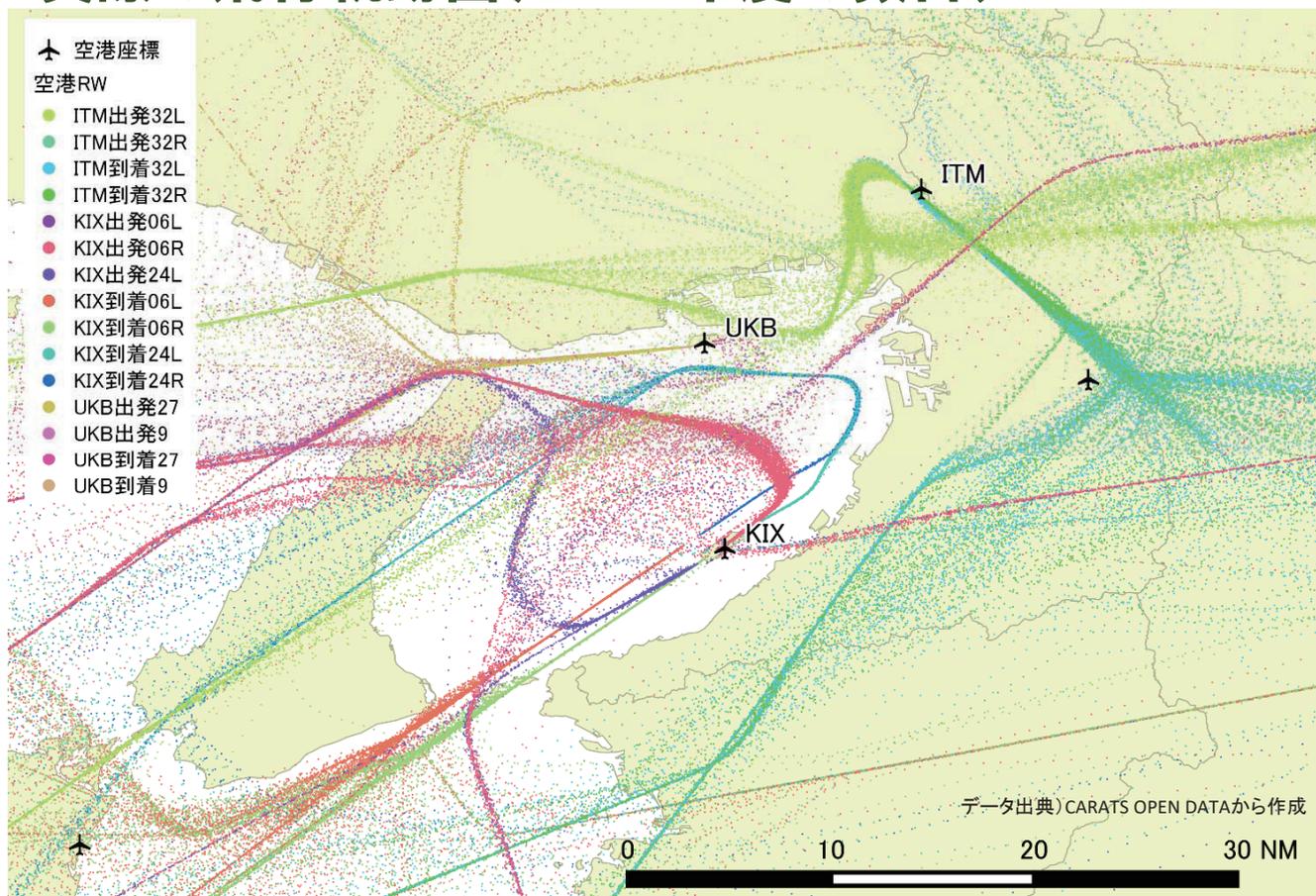
# 実際の飛行軌跡図(2014年度の数日)



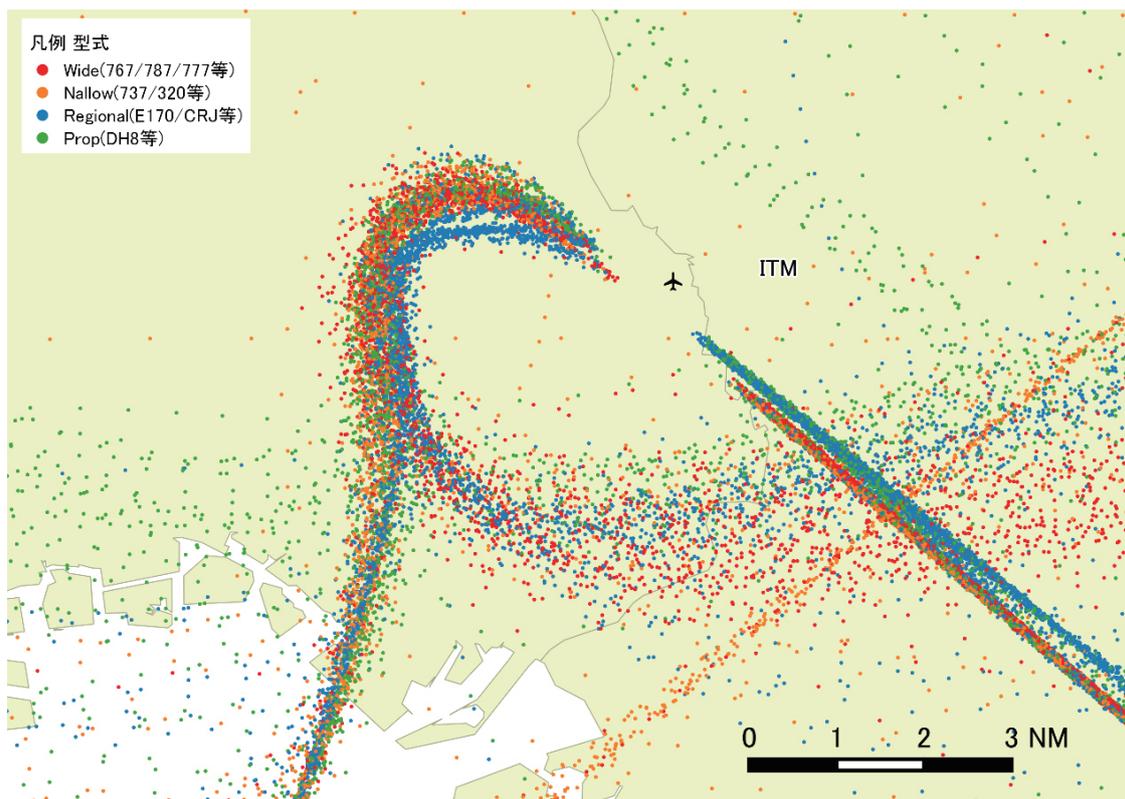
# 実際の飛行軌跡図(2014年度の数日)

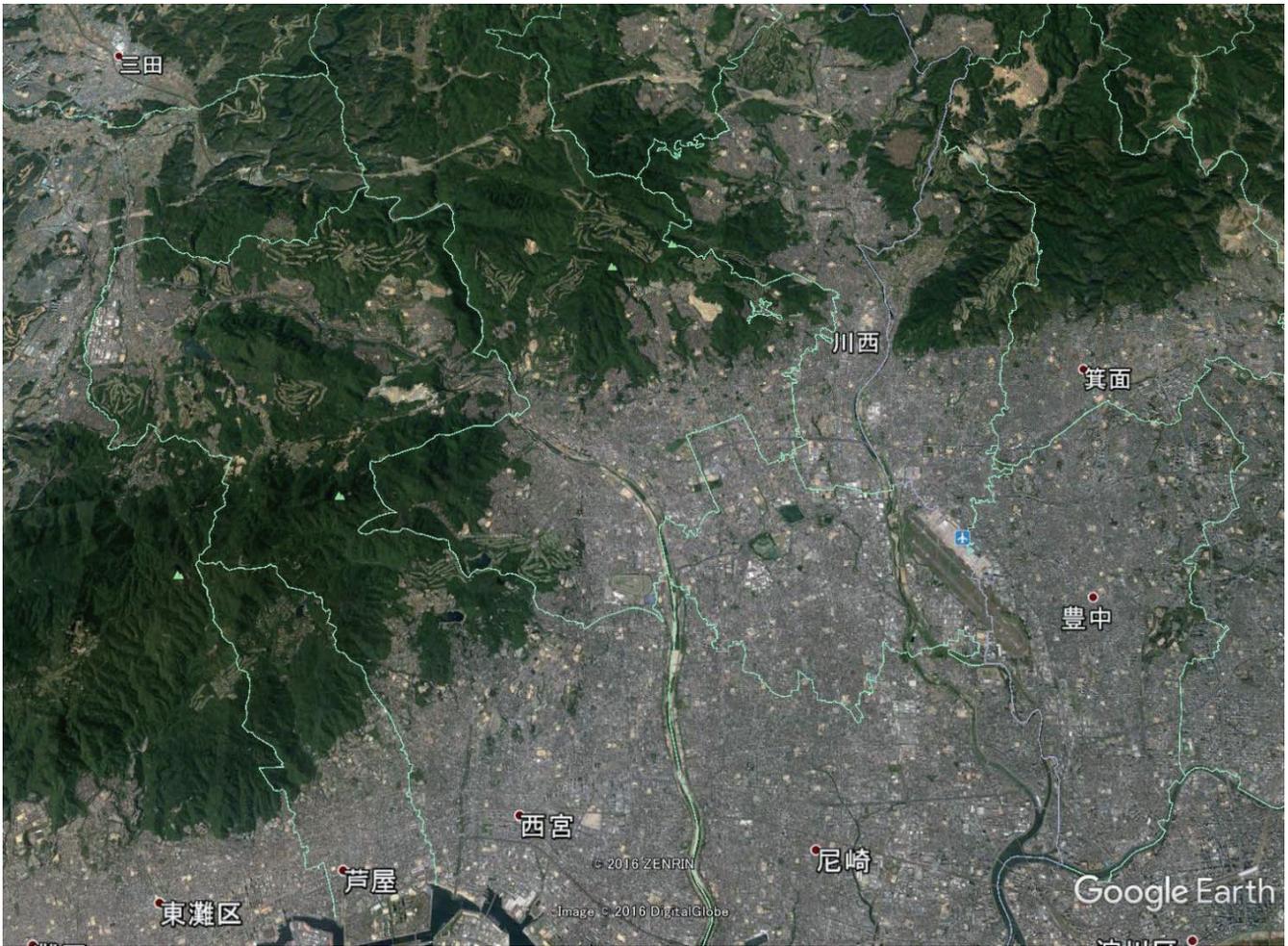


# 実際の飛行軌跡図(2014年度の数日)



# 伊丹の離陸飛行経路の例:機材別

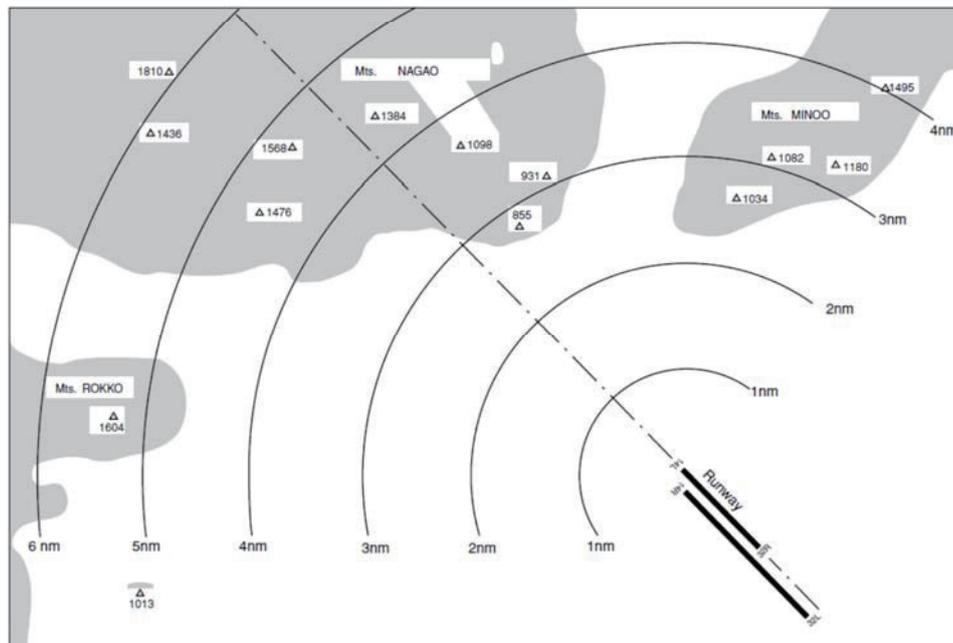




Avoidance Flight of Mountainous Areas at OSAKA INTL Airport

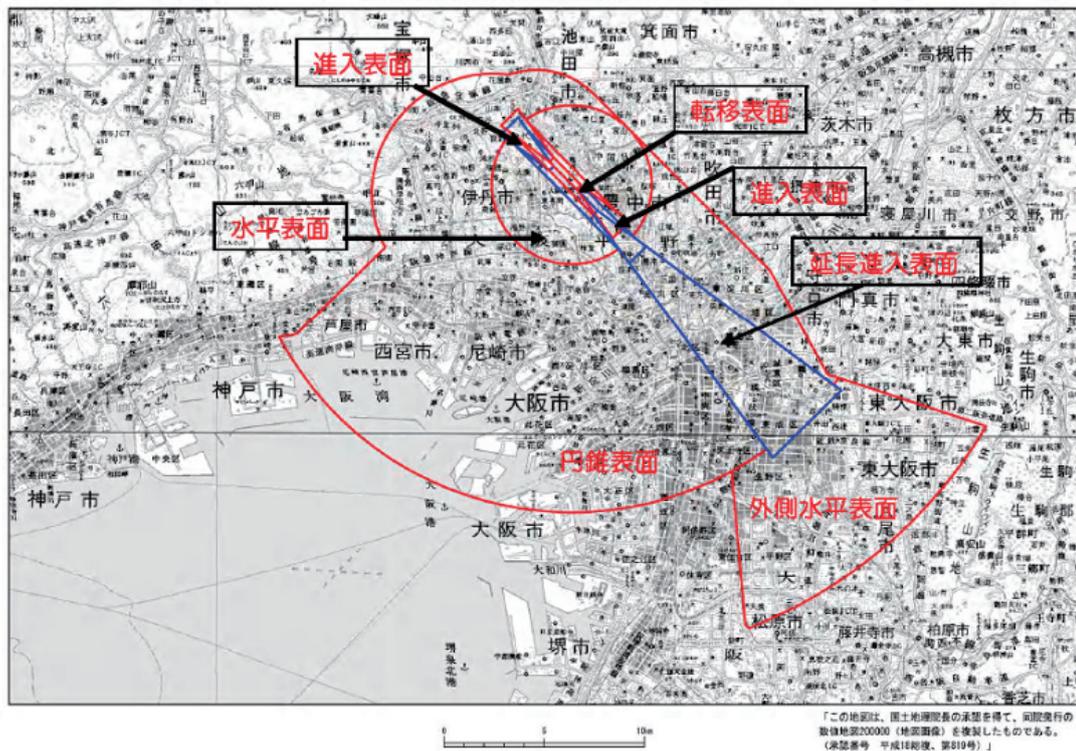
For the purpose of avoiding collision at the mountainous area shown on the chart, the aircraft taking off from RWY 32 at OSAKA International Airport should turn to the left as soon as possible with due regard to the noise at the time of climbing, but without sacrificing the flight safety.

Note: The areas of hatching are obstructions which are projecting above the plane surface having a 40:1 slope from RWY 14 threshold.





大阪国際空港の制限表面区域図



# 機数制限

## RJOO AD 2.20 LOCAL TRAFFIC REGULATIONS

### 1 AIRPORT REGULATIONS

#### 1.3 On the control of flight frequencies

The flight frequency of aircraft is controlled as specified below:

(a) The total numbers of IFR aircraft permitted **to land and to take off** are confined to;

- (1) 36 aircraft for an hour
- (2) 93 aircraft within 3 hours on a continuous basis
- (3) 370 aircraft for a day

(b) The total numbers of IFR aircraft permitted **to land** are confined to;

- (1) 20 aircraft an hour
- (2) 60 aircraft within 3 hours on a continuous basis.

Note: Aircraft in an emergency situations are exempted from applying any of the foregoing limitations.

# 機材別の滑走路使用

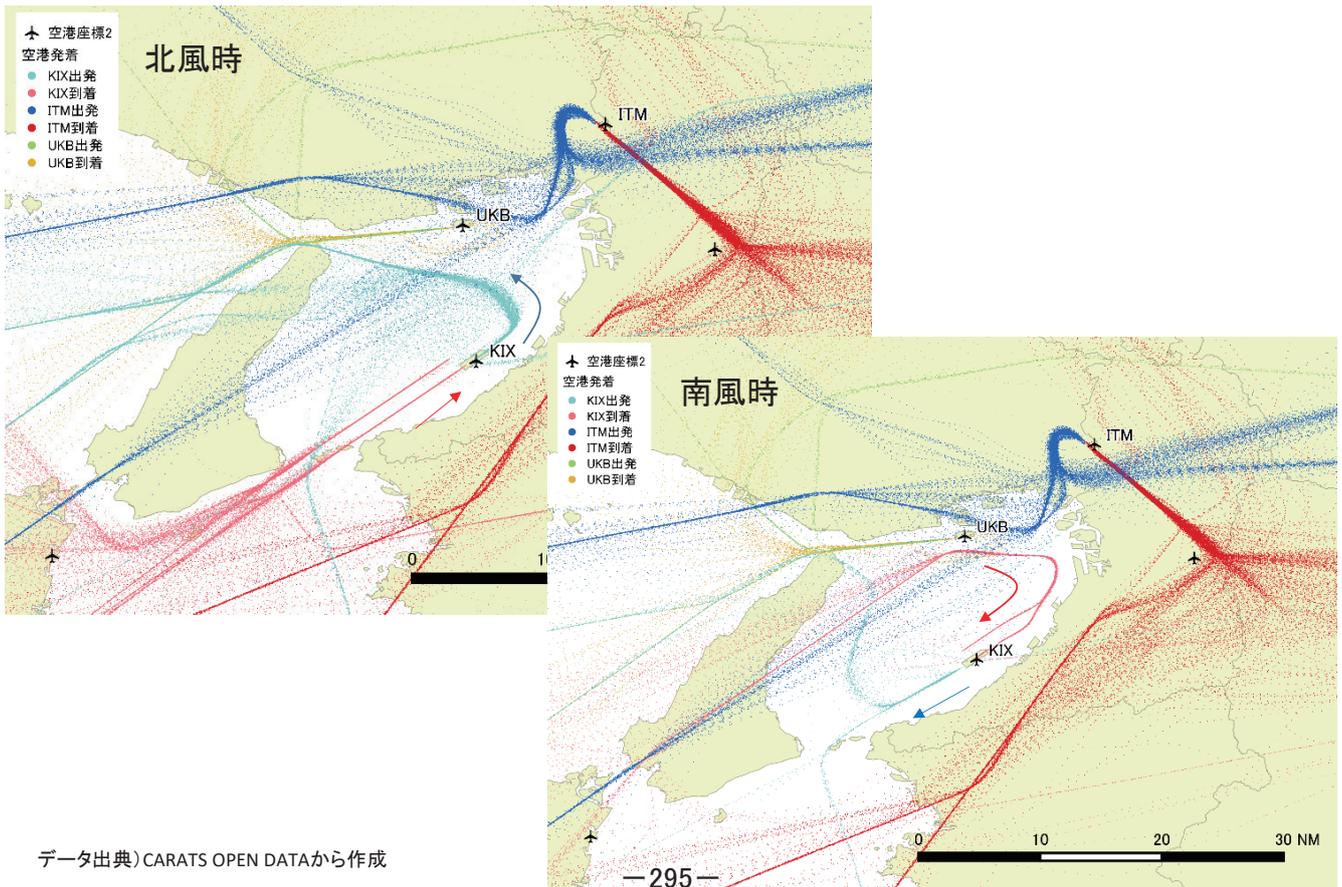
2. Principal Runway Usage Classification				
	Arrival		Departure	
RWY 14L/32R	A320 ERJ170-100STD CRJ700 CRJ200 CRJ100 DHC-8-400 DHC-8-100 SAAB340B	Other aircraft described left, maximum take-off weight at or less than B737-800 (79,243kg)	B737-500 ERJ170-100STD CRJ200 CRJ100 DHC-8-400 DHC-8-100 SAAB340B	Other aircraft described left, maximum take-off weight at or less than CRJ200 (23,134kg)
RWY 14R/32L	B777-300ER B777-300 B777-200 B787-8 B767-300 B737-800 B737-700 B737-500	Other aircraft described left, maximum take-off weight more than B737-800 (79,243kg)	B777-300ER B777-300 B777-200 B787-8 B767-300 B737-800 B737-700 A320 CRJ700	Other aircraft described left, maximum take-off weight more than CRJ200 (23,134kg)

# 伊丹の滑走路運用イメージ

写真出典) Google Earth



# 関空:北風時, 南風時の飛行経路



データ出典) CARATS OPEN DATAから作成

# 関西空港周辺の地形

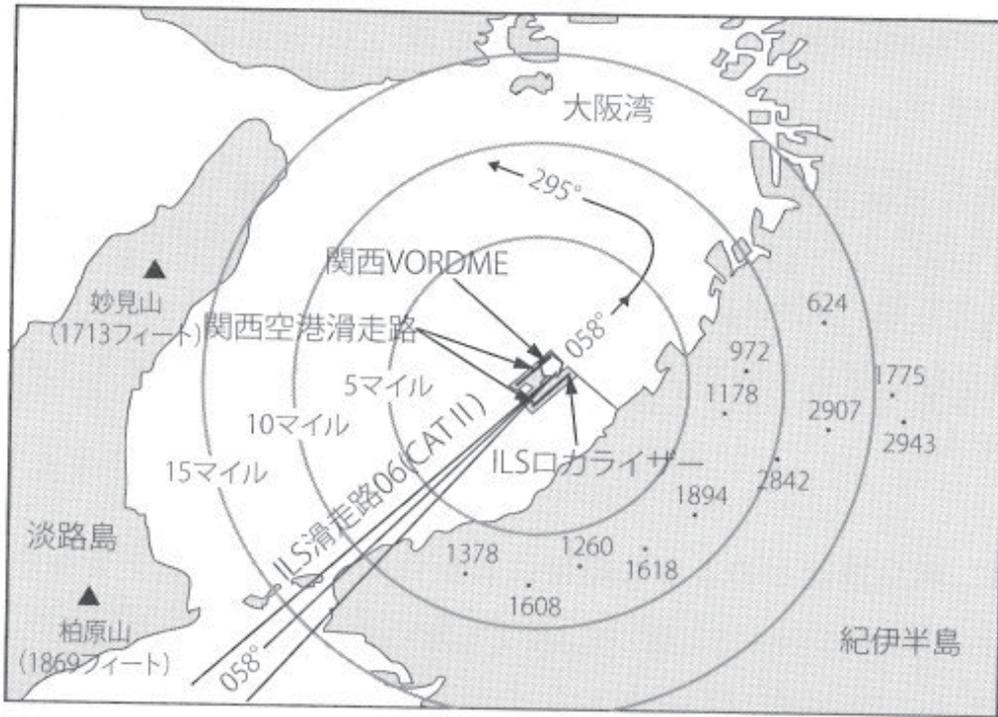
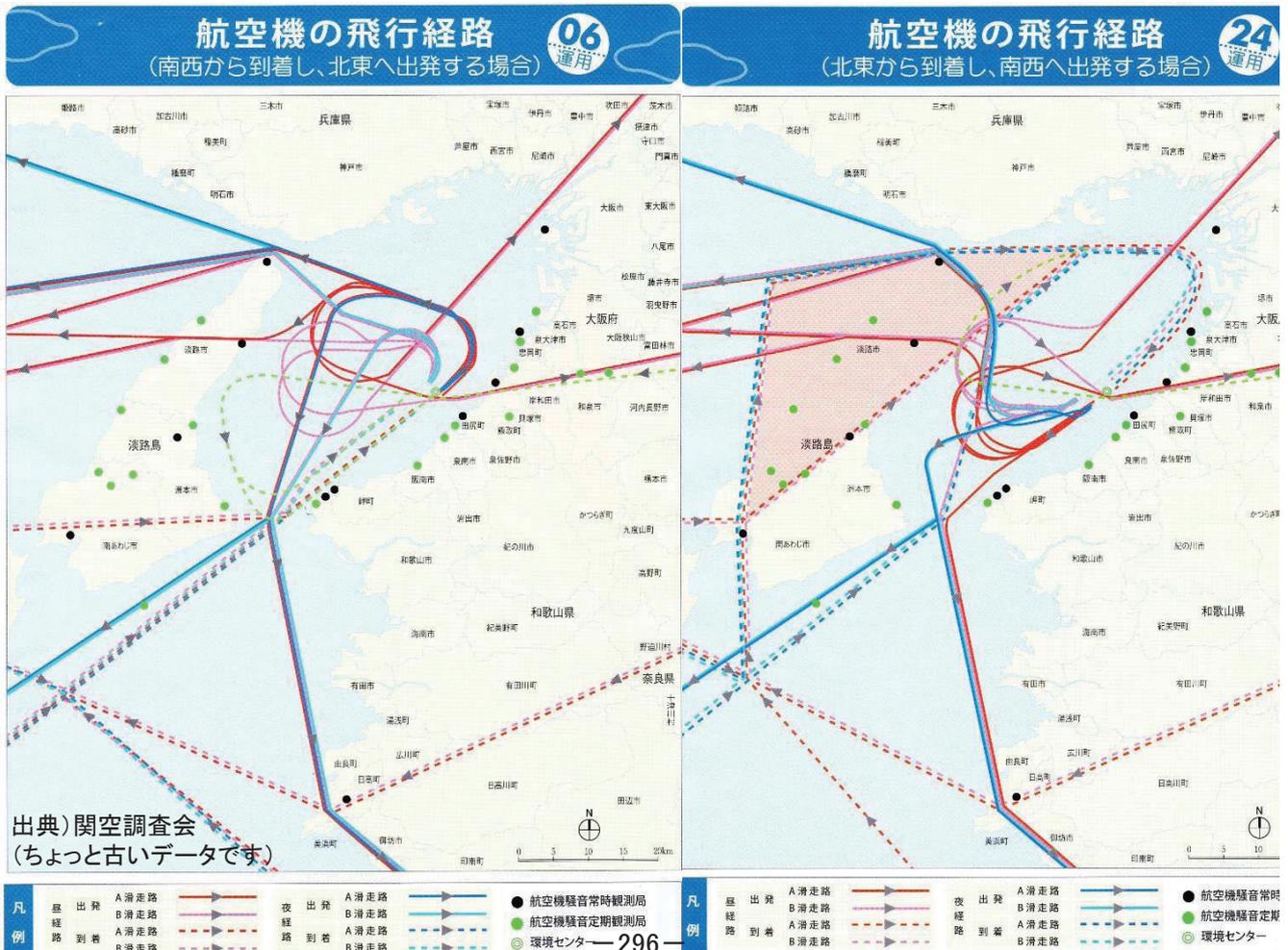


図4-2-1 関西空港周辺の地形

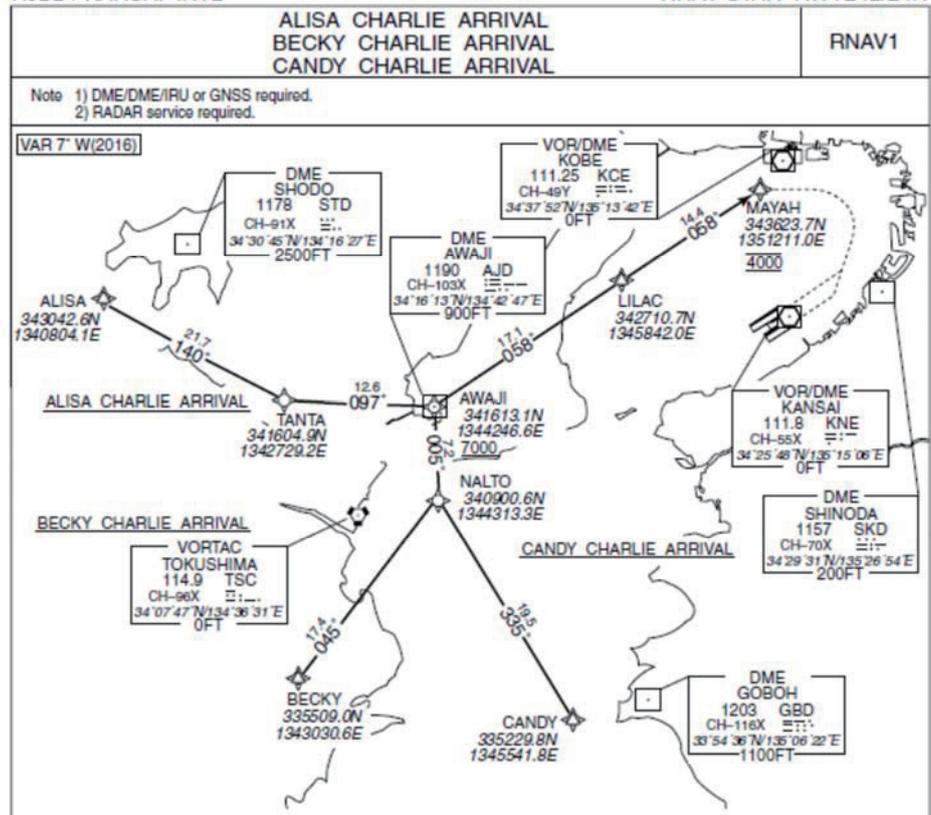
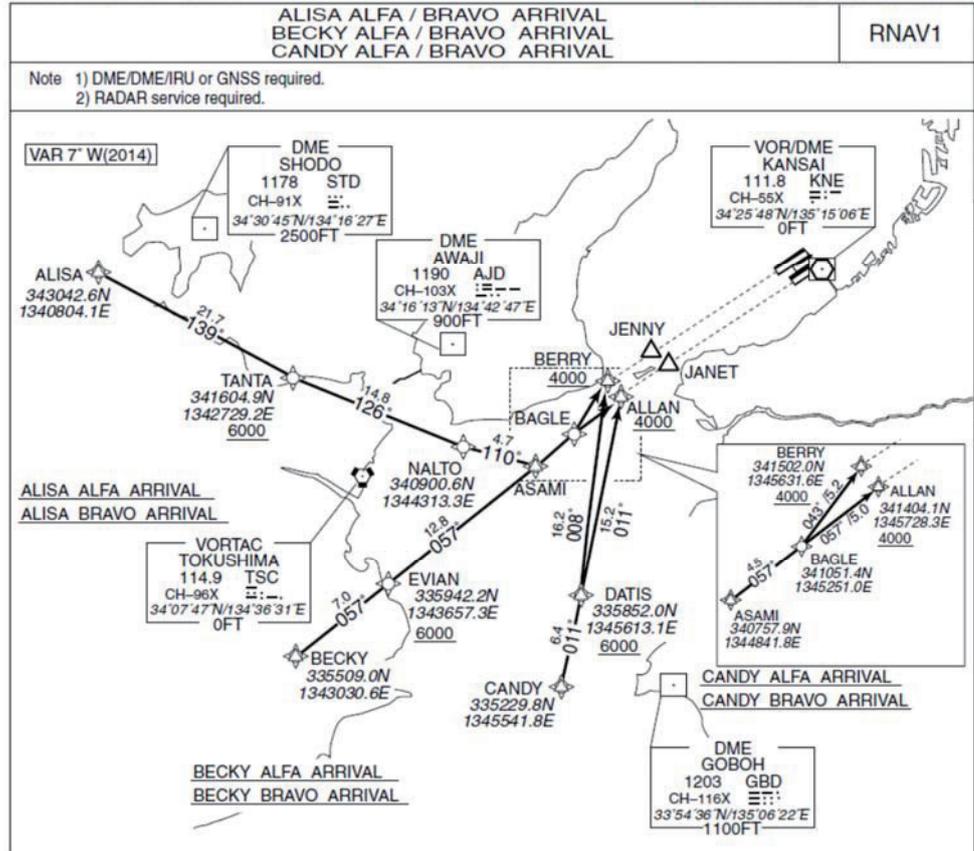
淡路島の山の周辺では3000ft以上を保持

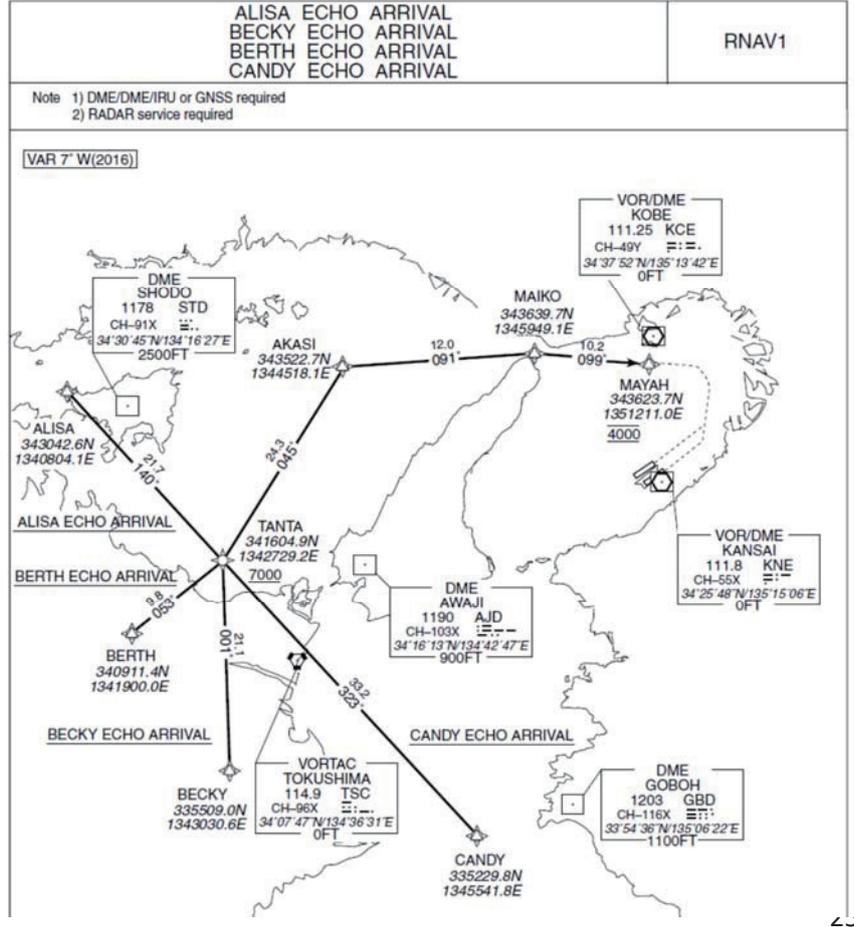
出典)園田耕司「くらべてわかる航空管制」1



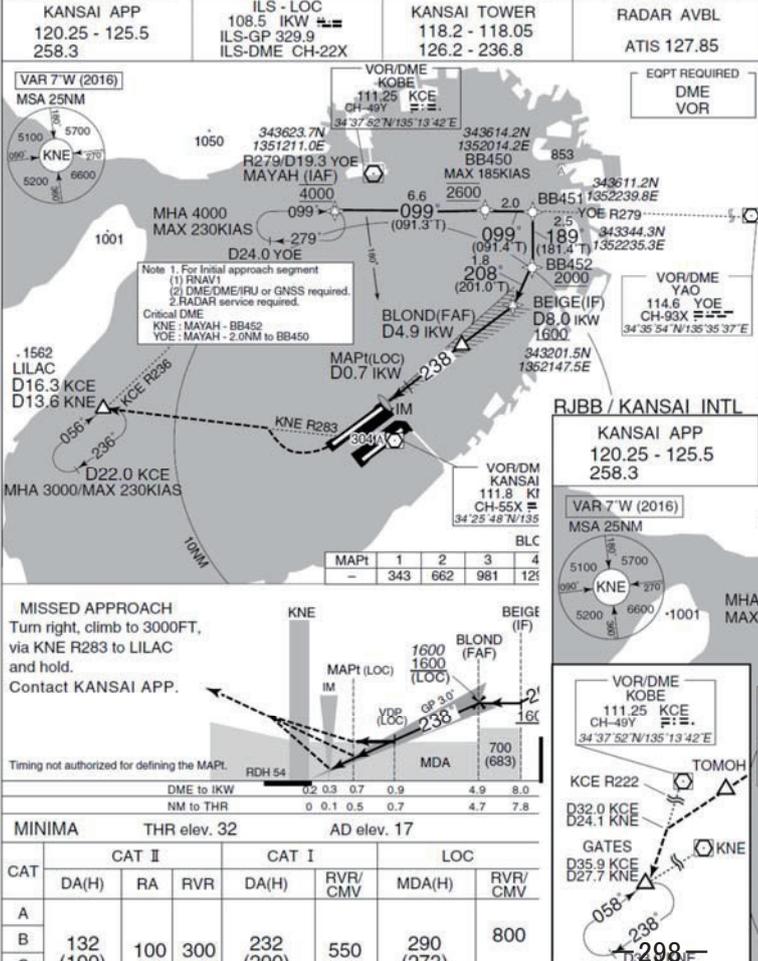
出典)関空調査会  
(ちょっと古いデータです)

- |   |   |
|---|---|
| <p><b>凡例</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 航空機騒音常時観測局</li> <li>● 航空機騒音定期観測局</li> <li>● 環境センター</li> </ul> | <p><b>凡例</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 航空機騒音常時</li> <li>● 航空機騒音定期</li> <li>● 環境センター</li> </ul> |
|---|---|



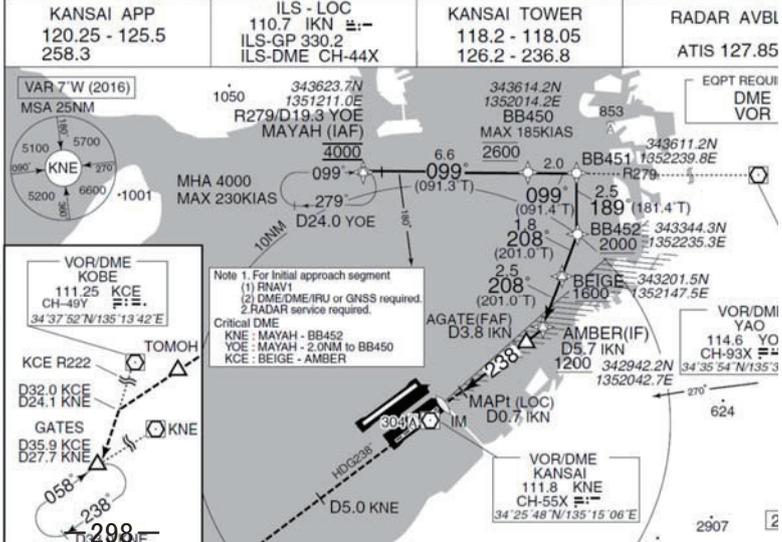


出典) AIS JAPAN

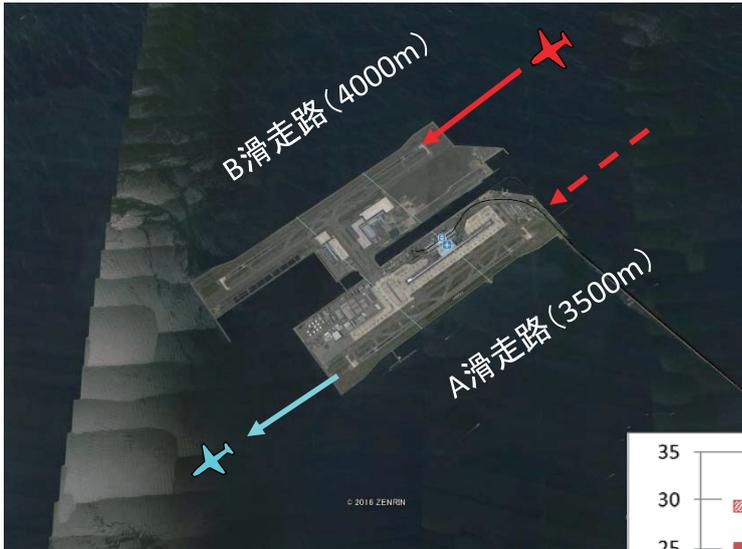


出典) AIS JAPAN

最終進入前の到着経路は共通(一本)

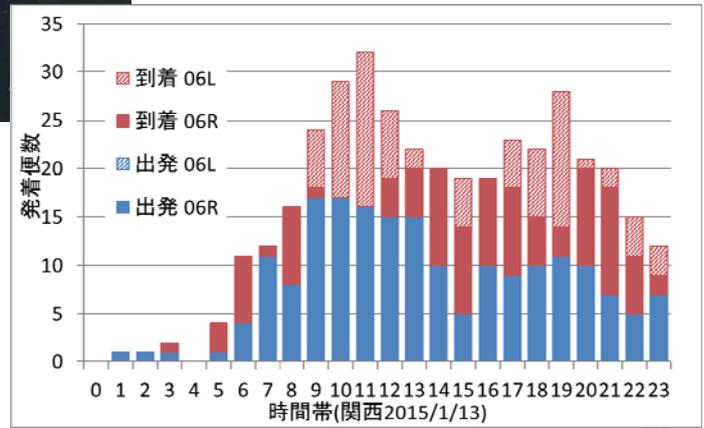


# 関空の滑走路運用イメージ(混雑時)



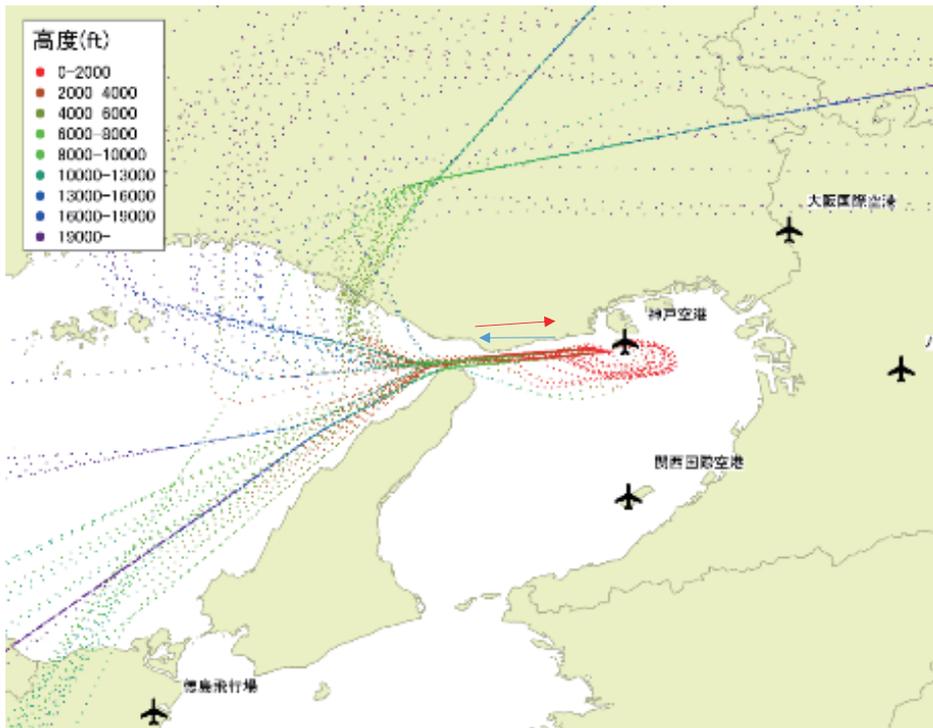
空域をより柔軟に使用できれば、同時離陸や同時着陸などにより、さらに容量拡大が可能.

CARATS DATA2014から集計



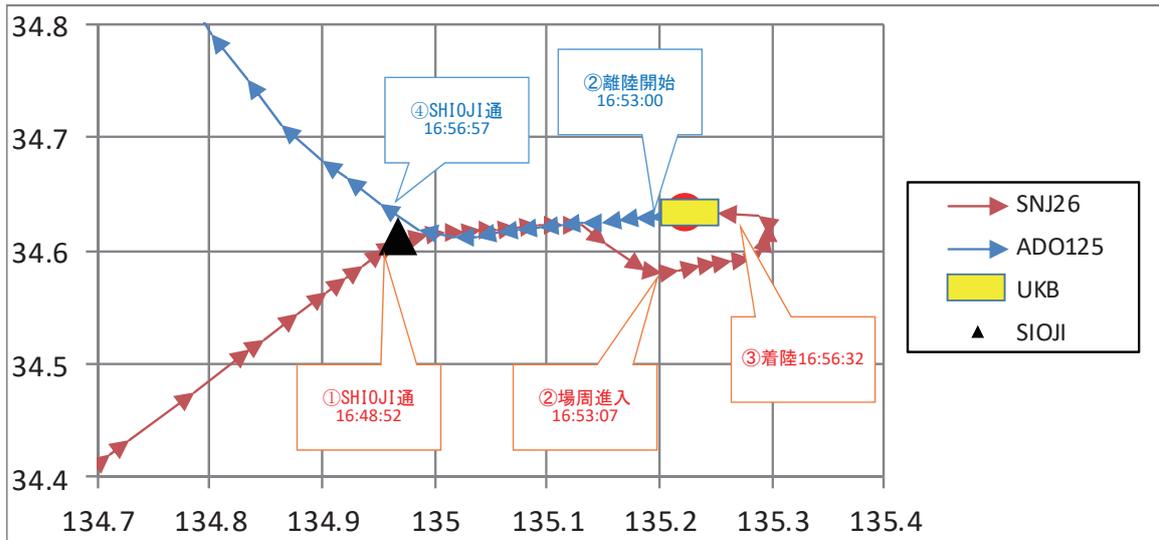
写真出典) Google Earth

# 神戸の飛行軌跡



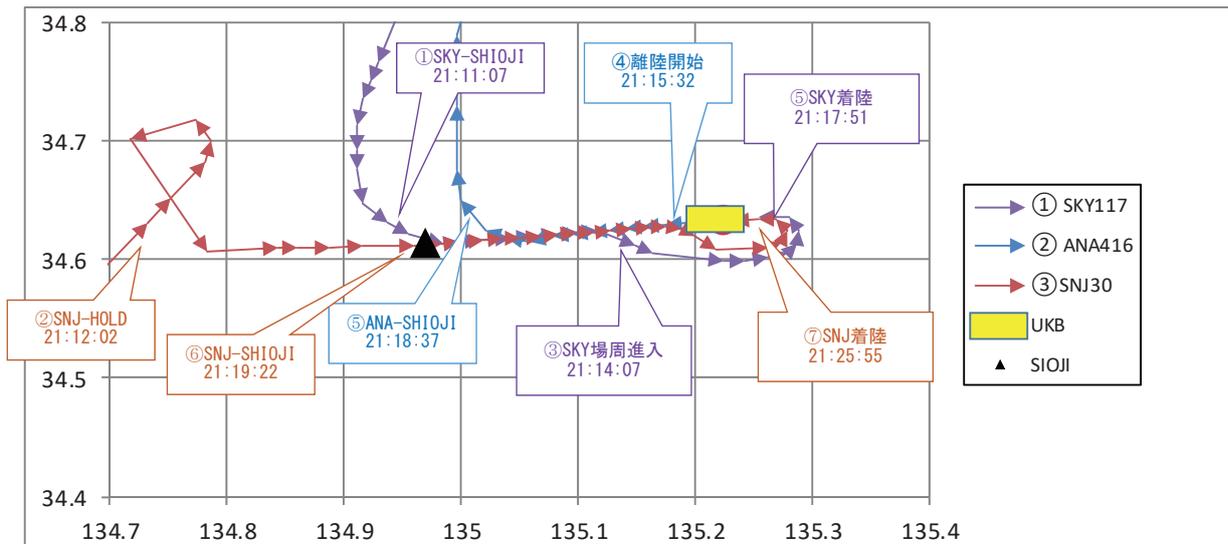


# 神戸の離着陸処理の例：片側運用制約の影響



出典) Flight Radar24である日の軌跡データを観測した結果

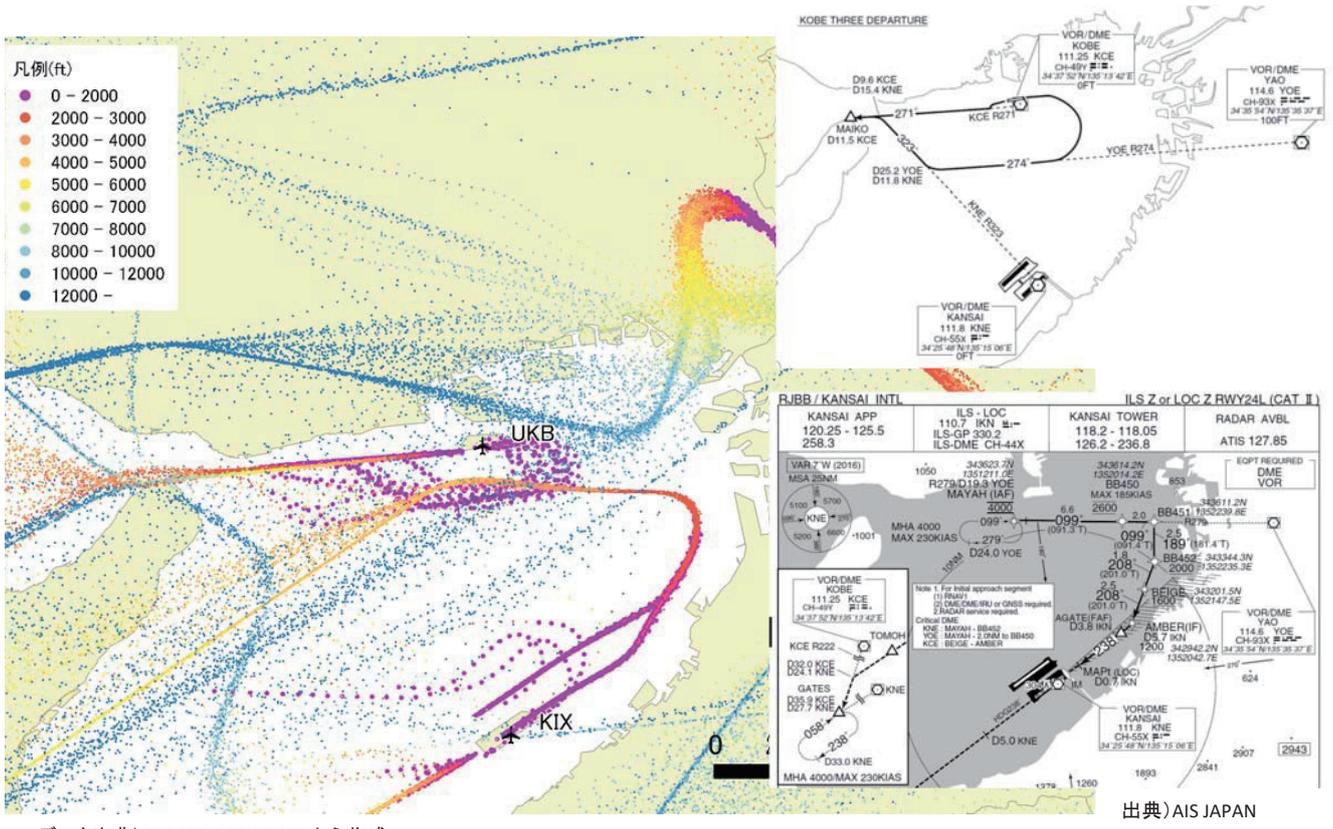
# 神戸の離着陸処理の例：片側運用制約の影響



連続離陸や連続着陸は通常の処理効率と同じだが、離陸→着陸、着陸→離陸の処理に通常よりも時間がかかる(約2~3倍の時間)  
 \* 伊丹の南風運用も同様(だと思う)

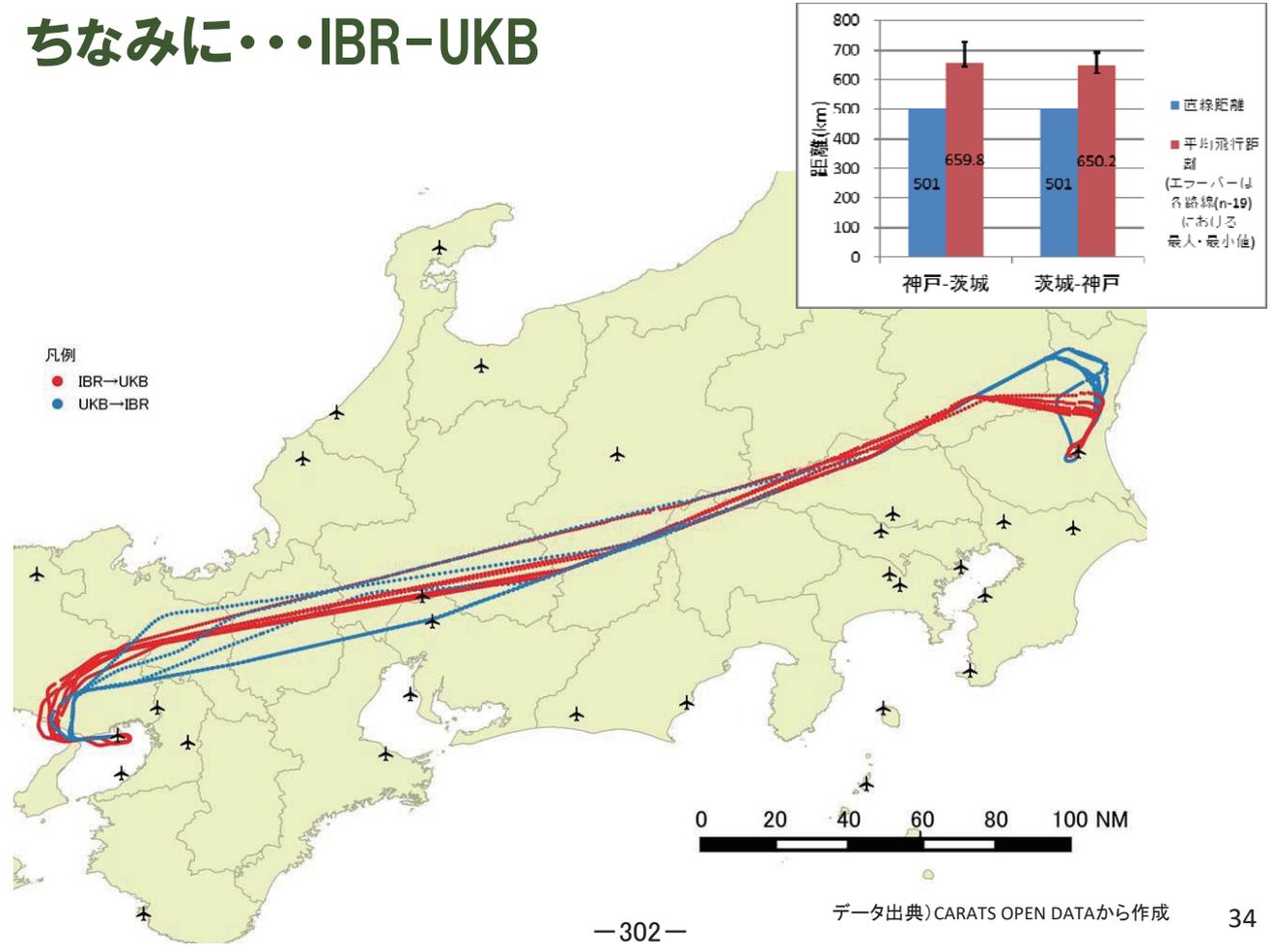
出典) Flight Radar24である日の軌跡データを観測した結果

# 神戸と関空の経路競合と飛行高度制限



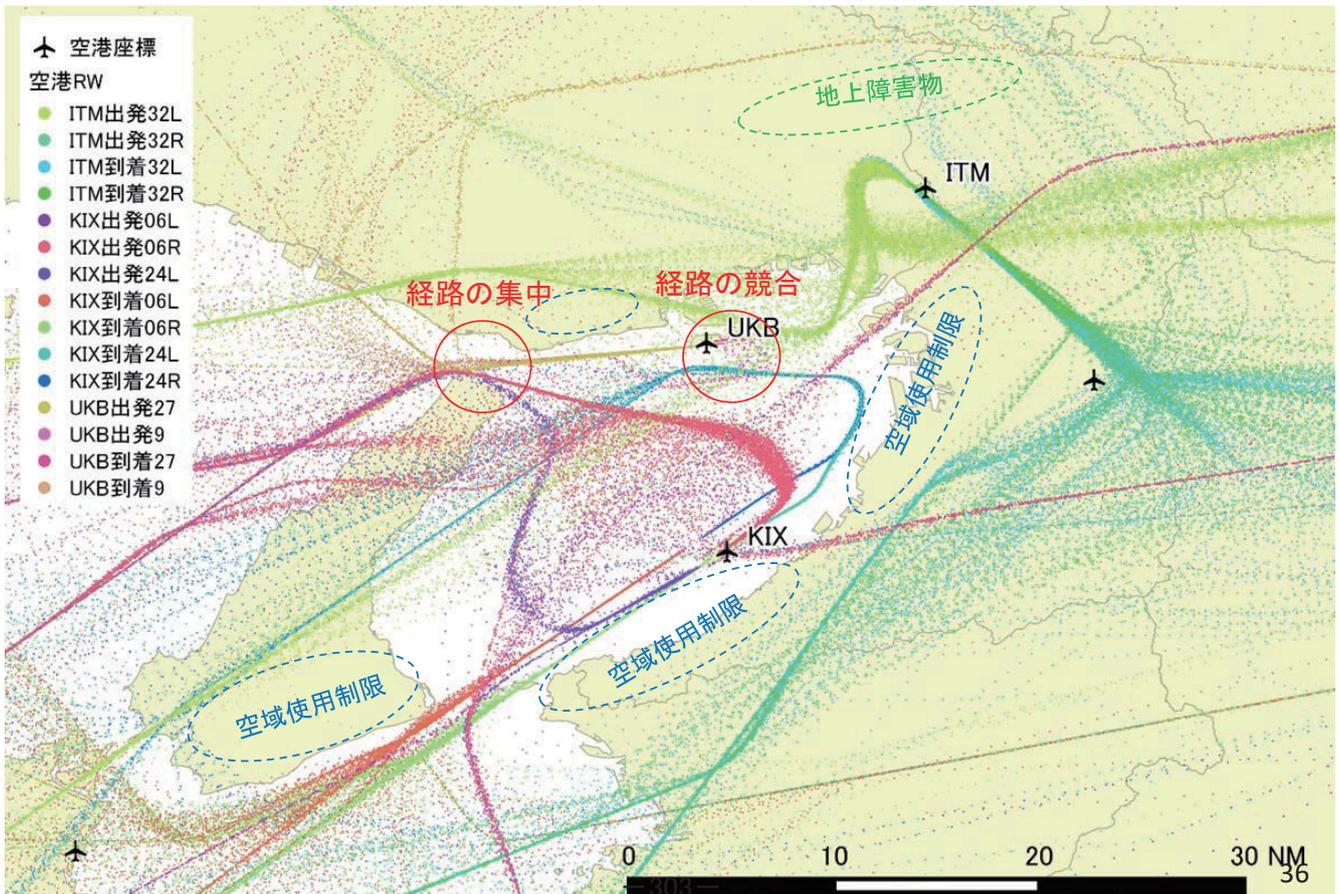
データ出典) CARATS OPEN DATAから作成

# ちなみに・・・IBR-UKB



発空港	着空港	直線距離 (km)	平均飛行 距離(km)	9日間 便数	最小飛行 距離(km)	最大飛行 距離(km)	飛行距離/直線距離		
							平均	最小	最大
神戸発	新千歳	1065.6	1205.9	45	1131.7	1291.0	1.13	1.06	1.21
	羽田	427.4	634.7	84	565.6	1022.8	1.49	1.32	2.39
	茨城	501.4	659.8	18	645.5	730.0	1.32	1.29	1.46
	長崎	527.1	588.8	36	557.4	603.3	1.12	1.06	1.14
	那覇	1187.1	1258.0	45	1216.0	1325.0	1.06	1.02	1.12
新千歳	神戸着	1065.6	1142.1	43	1121.6	1178.3	1.07	1.05	1.11
羽田		427.4	541.3	84	518.7	630.5	1.27	1.21	1.48
茨城		501.4	650.2	18	622.1	693.4	1.30	1.24	1.38
長崎		527.1	556.0	36	534.0	578.9	1.05	1.01	1.10
那覇		1187.1	1229.1	45	1195.4	1274.2	1.04	1.01	1.07
関西発	新千歳	1084.7	1201.7	117	1096.0	1309.8	1.11	1.01	1.21
	羽田	432.2	596.6	105	506.5	841.4	1.38	1.17	1.95
	長崎	521.5	607.1	9	578.3	626.3	1.16	1.11	1.20
	那覇	1170.8	1270.7	110	1199.5	1550.7	1.09	1.02	1.32
新千歳	関西着	1084.7	1301.3	121	1253.6	1425.2	1.20	1.16	1.31
羽田		432.2	548.6	106	508.1	632.5	1.27	1.18	1.46
長崎		521.5	562.2	9	538.4	595.4	1.08	1.03	1.14
那覇		1170.8	1215.3	104	1174.8	1374.6	1.04	1.00	1.17
伊丹発	新千歳	1041.2	1147.2	74	1086.2	1246.9	1.10	1.04	1.20
	羽田	404.2	556.0	274	478.2	731.3	1.38	1.18	1.81
	長崎	551.3	620.3	62	594.4	646.9	1.13	1.08	1.17
	那覇	1212.7	1300.7	42	1244.9	1405.5	1.07	1.03	1.16
新千歳	伊丹着	1041.2	1136.1	73	1080.3	1257.9	1.09	1.04	1.21
羽田		404.2	459.6	276	436.7	631.2	1.14	1.08	1.56
長崎		551.3	634.1	62	600.4	714.6	1.15	1.09	1.30
那覇		1212.7	1289.9	42	1250.9	1387.5	1.06	1.03	1.14

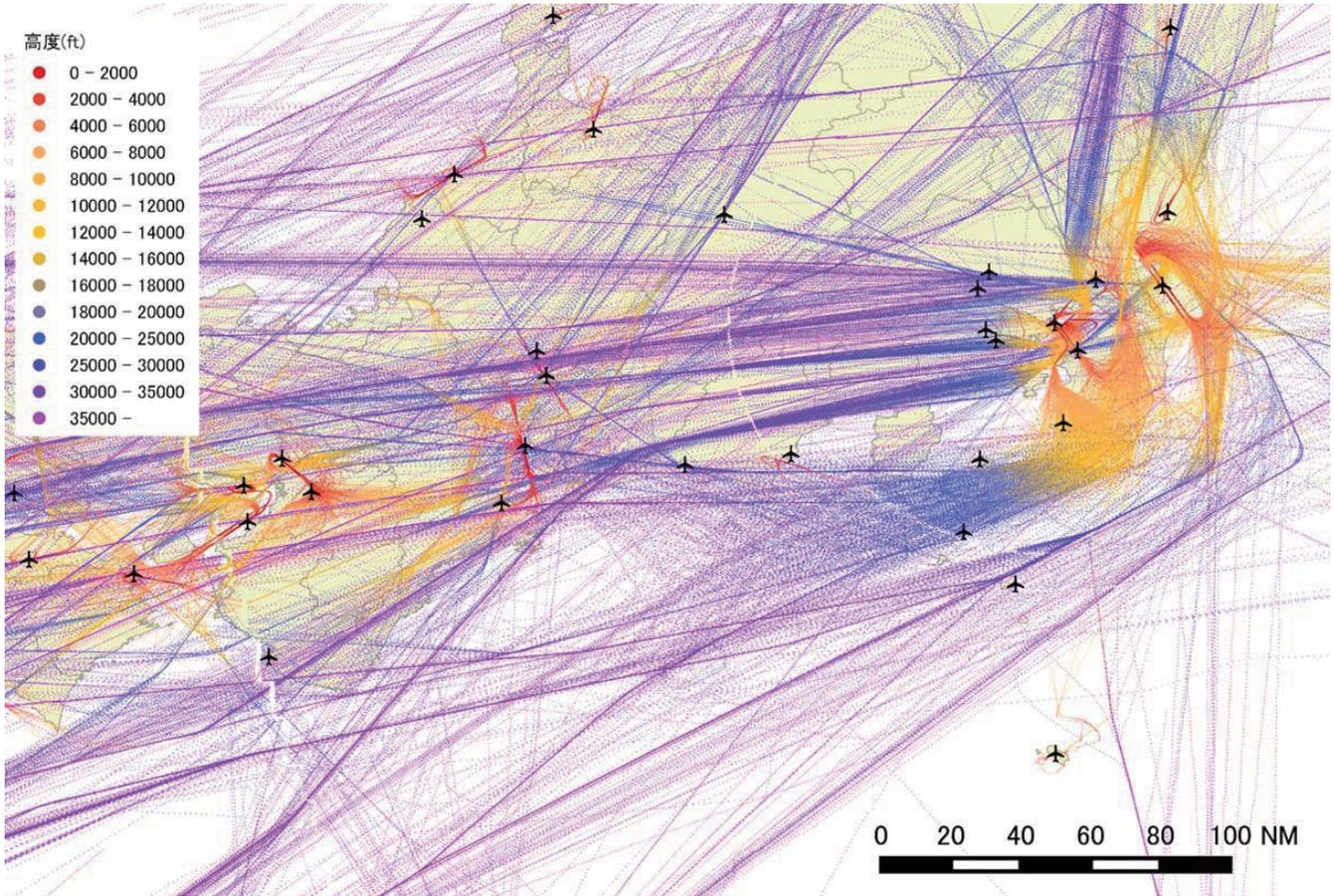
データ出典) CARATS OPEN DATAから作成





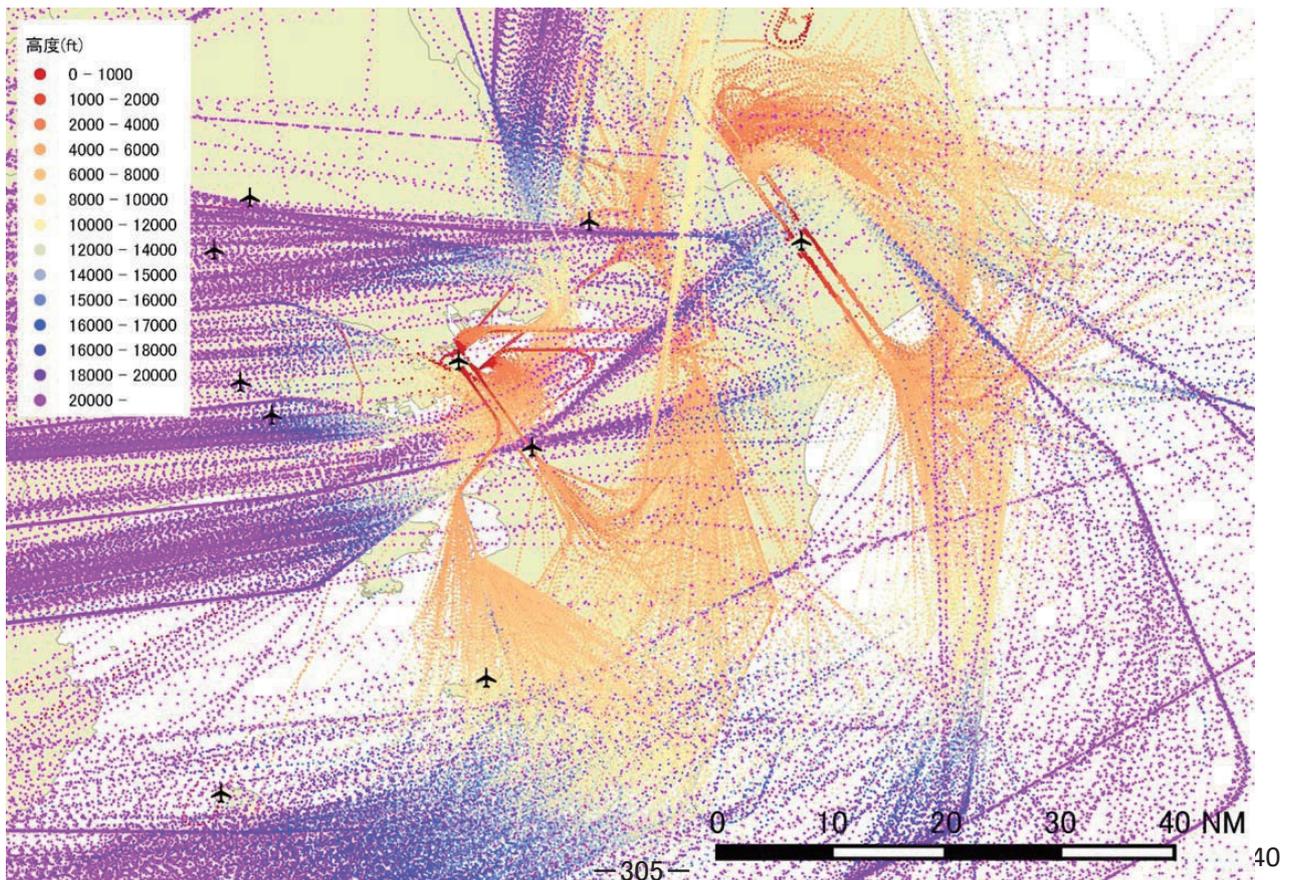
# 関西～関東

データ出典) CARATS OPEN DATAから作成



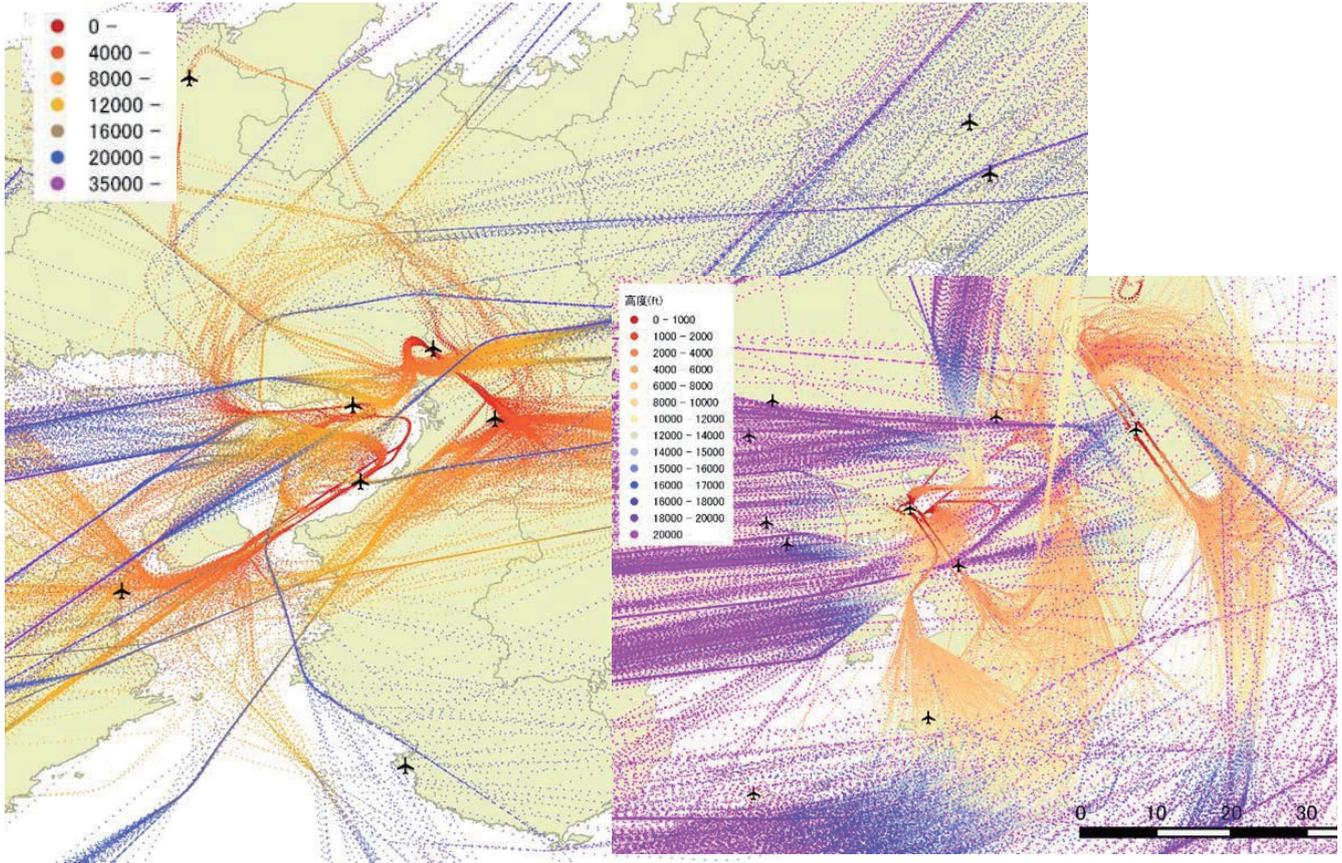
# 首都圏の実際の飛行軌跡 (2014年度のある数日)

データ出典) CARATS OPEN DATAから作成



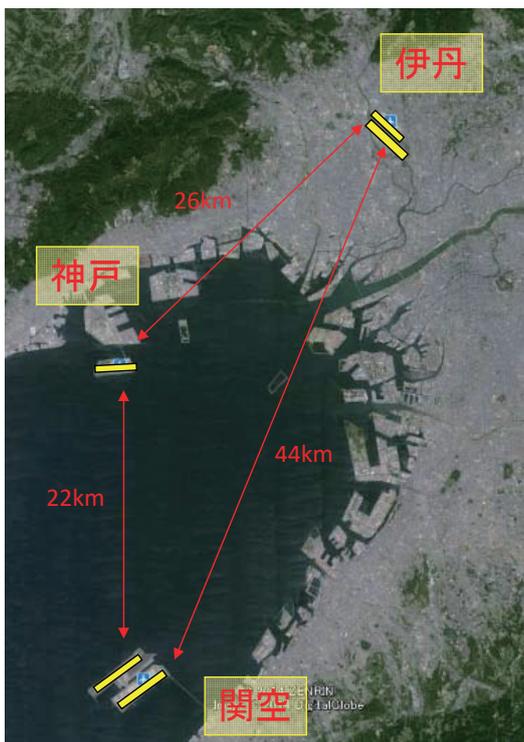
# 関西と関東の比較

データ出典) CARATS OPEN DATAから作成

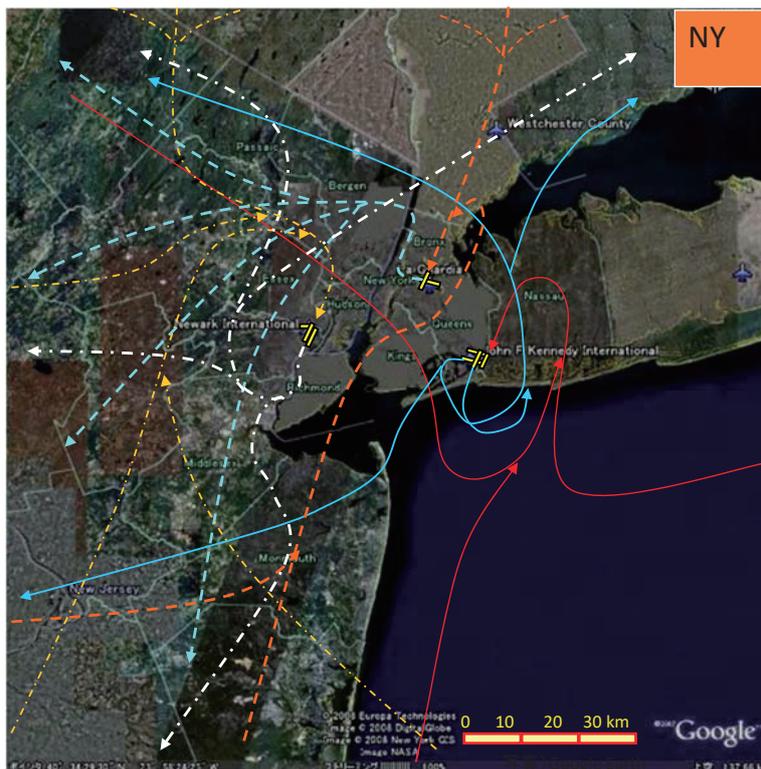


# 関西3空港とNY4空港

写真出典) Google Earth



# NY首都圏の飛行経路の例



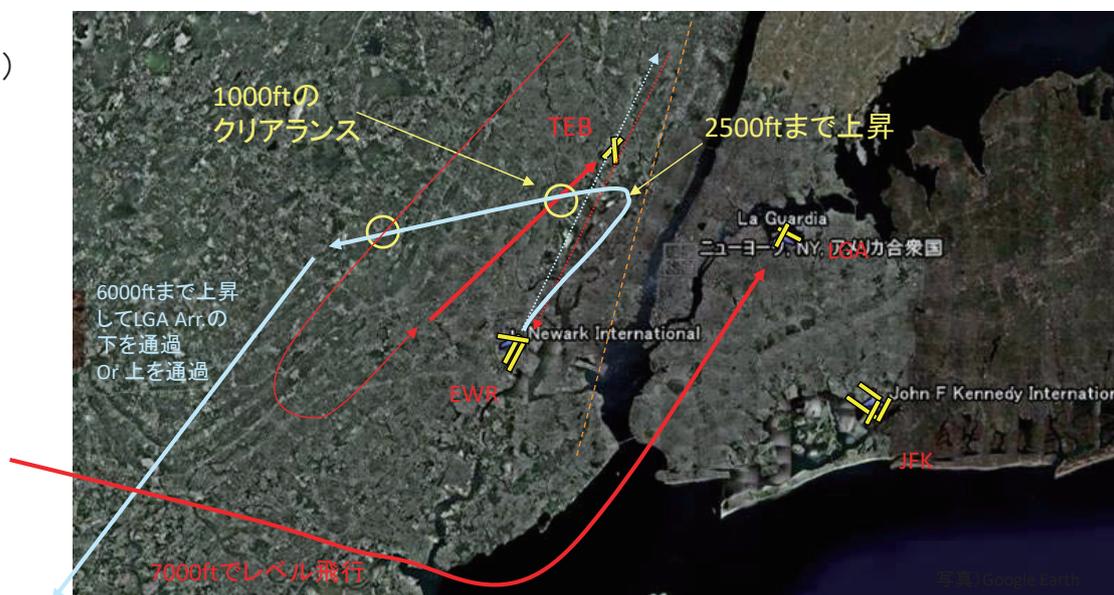
写真出典) Google Earth

## 複数空港の近接性と、出発到着経路の設定

上昇・降下経路を細かく規定し、高度差も利用しながら安全な運航を確保

垂直間隔の最低基準: 1,000ft, 水平間隔の最低基準: 3NM

(例)



写真出典) Google Earth

# 関西圏空港・空域の運用上の主な制約～まとめ

## 関空:

- ✓ 陸域飛行高度制限(空港東部・北部, 淡路)
  - 高度処理のための飛行距離延伸
  - 使用空域制限のための空域混雑(離着陸の飛行誘導に影響)
  - 平行滑走路への同時離着陸経路の設定が困難

## 伊丹:

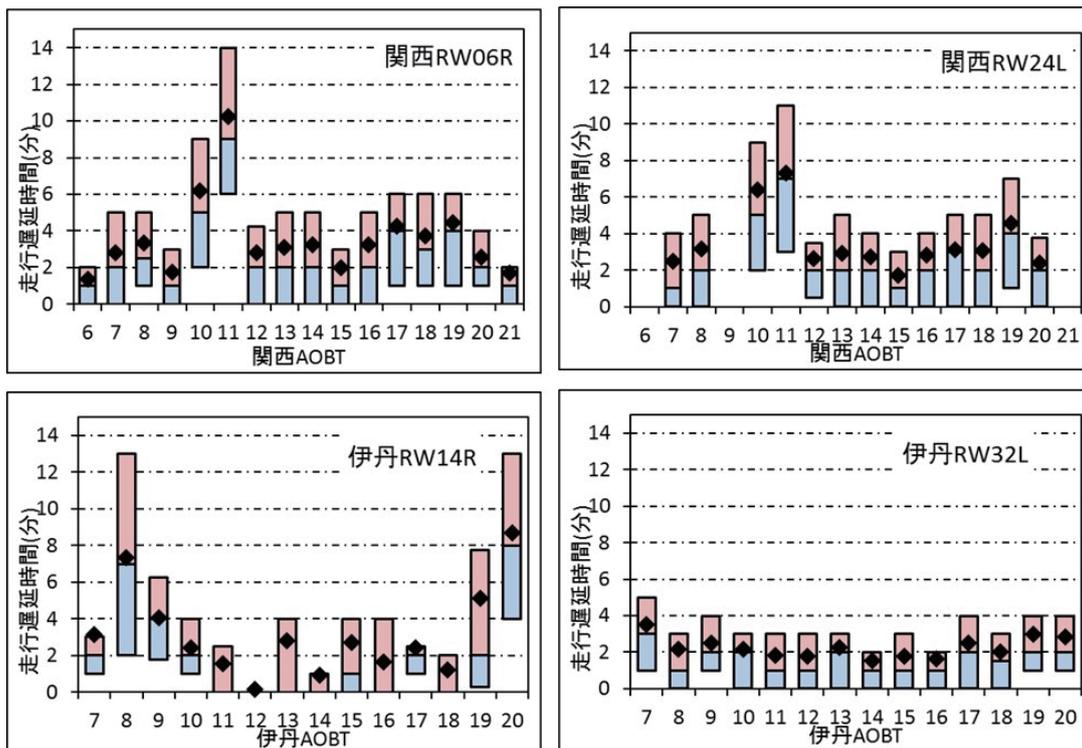
- ✓ 騒音規制
  - 運航機数の総量・密度・時間制限
  - 機材別の使用滑走路制限
- ✓ 地上障害物(空港北部の山地)
  - 北東方面への(orからの)離着陸ができない
  - 南風運用時の容量減

## 神戸:

- ✓ 機数制限(日30往復)
- ✓ 関空便との飛行経路の競合, 陸域飛行高度制限(空港北部など)
  - 西方片側運用, 飛行高度制限

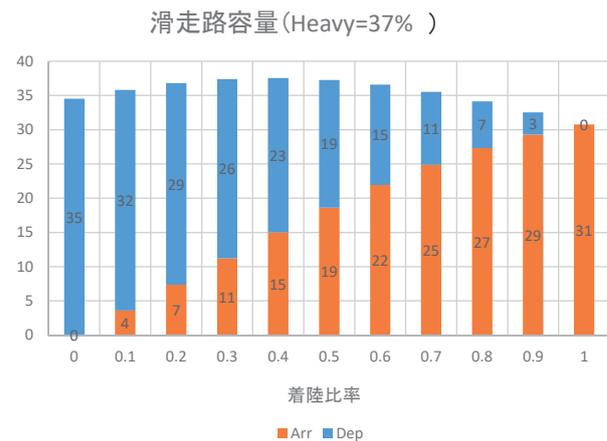
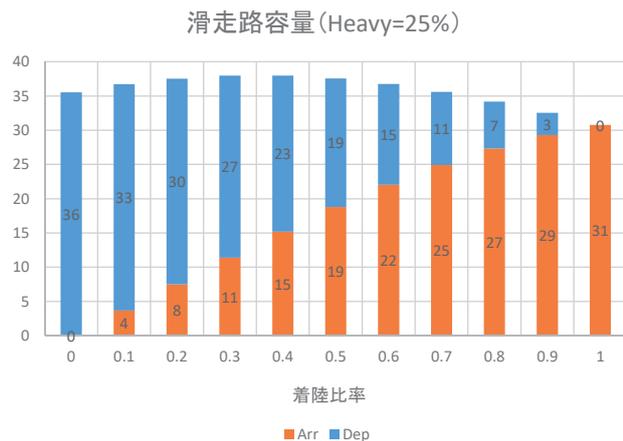
45

# 関空・伊丹の出発走行時間の遅延(推計値)



出典)FlightRadar24データから独自に集計(サンプルデータなので全体の傾向を必ずしも示していない可能性がある)

# 単一滑走路の容量の試算(滑走路占有時間は羽田データ\*1)



離着陸同数で38回/時  
 (もしClose-Parallelでの運用を考慮すれば滑走路占有時間制約が多少緩和され容量増)  
 (占有時間によっては容量の増減あり)

離着陸同数で38回/時  
 (関空はOpen-Parallelなので、単純に独立運用が可能であれば2倍の容量になる:76回/時)  
 (離着陸分離運用では容量の少ない着陸に合わせて62回/時)

注)着陸容量については滑走路を通過する時間(滑走路占有時間)のみで計算しており(\*1),大型機の増加に伴う後方乱気流の影響増加については考慮していない。羽田のように占有時間が比較的に長い場合はさほど影響はないが、正確な容量算定をするには精査が必要。

\*1) 国土省:羽田空港の発着枠の見直しについて <http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/12/120711/01.pdf>

## 関西3空港の運用課題

- 次世代管制・運航システムの積極活用
- 騒音影響と陸域高度制限 ⇔ 運航効率改善と処理効率改善の二一ズ
- 関空と神戸の近接性と経路重複 ⇔ 陸域飛行制限との関連や一体従属運用の可能性
- 3空港の需要ニーズに応じた運用制約の見直しに関連した必要性検討や技術検討
- 3空港運用に関する長期的視点に立った方針, 関西地域全体での問題意識の共有, 経済発展と環境影響のバランスの考慮, 地域における騒音負担のあり方の議論, 次世代航空交通システムなどの新技術の積極的活用による運航の効率化と環境影響の軽減など, 多面的な検討を進めていくことが重要
- 大規模災害時の対応も検討して欲しい

(参考:平田輝満:空港と航空輸送の緊急対応能力向上を~大規模災害に備えて, ていくおふ, No.143, 2016.)

# 八尾空港

**B滑走路  
(年間使用 3%)**

**SCU  
(大阪府中部広域防災拠点)**

**八尾駐屯地  
(場外扱い)**



空港総面積 約700,000㎡

A滑走路 1,490m × 45m  
サウスエプロン 71スポット  
固定翼用 66スポット  
回転翼用 4スポット  
試運転用 1スポット

航空灯火等  
滑走路灯・滑走路末端  
灯・滑走路末端識別灯・  
進入角指示灯・誘導路  
灯ほか

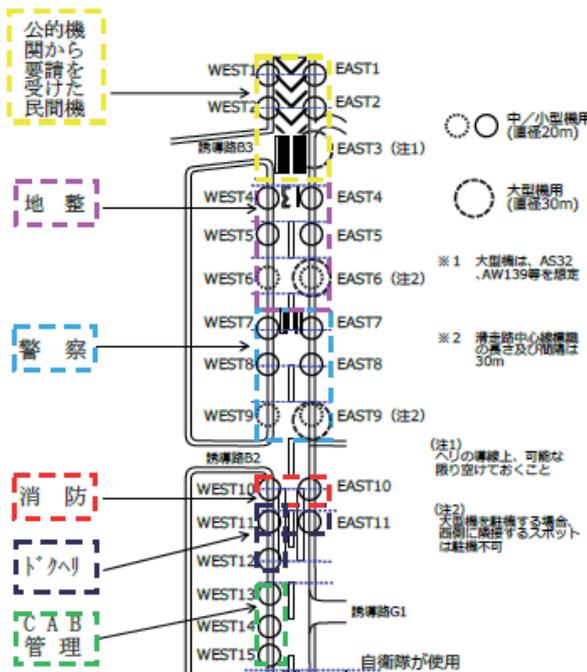
B滑走路 1,200m × 30m  
ノースエプロン 26スポット  
(回転翼用)

写真出典) Google Earth

出典) 八尾空港事務所提供資料

## 別紙2 八尾空港 B滑走路臨時スポット図

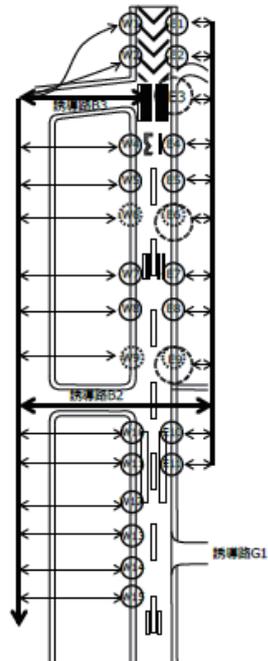
滑走路中心線標識に向かって、ショルダー寄りに駐機すること。  
スポット間隔が狭いため、十分に注意すること。



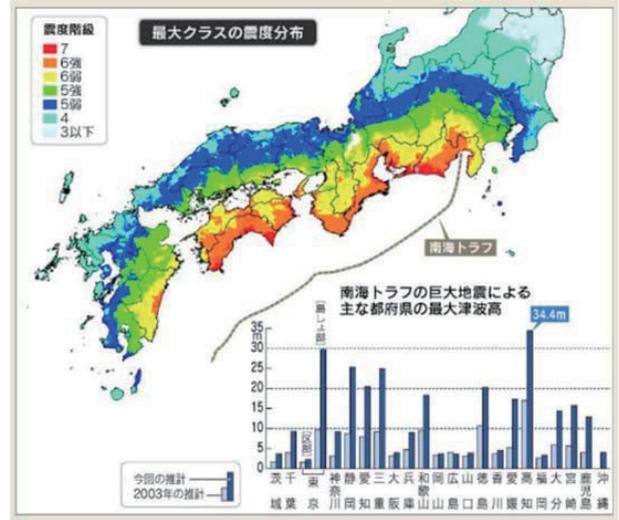
出典) 八尾空港事務所提供資料

## 八尾空港 B滑走路タキシング経路

- ① EASTスポットから出入するヘリは、空いている臨時スポットを經由してタキシングすることができる。
- ② 過走帯及び東側のスポットからIN/OUTするヘリは、場周道路を走行する車両に特に注意すること

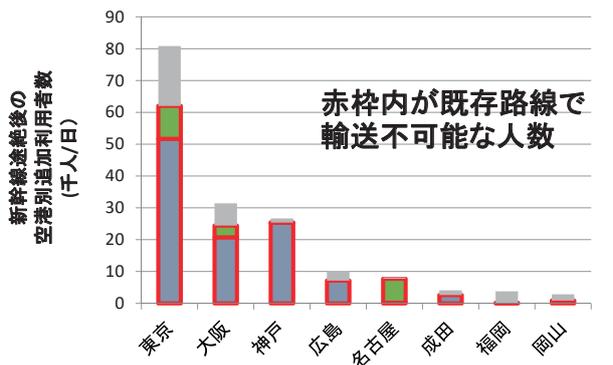


# 東海道新幹線途絶時の航空代替輸送は？



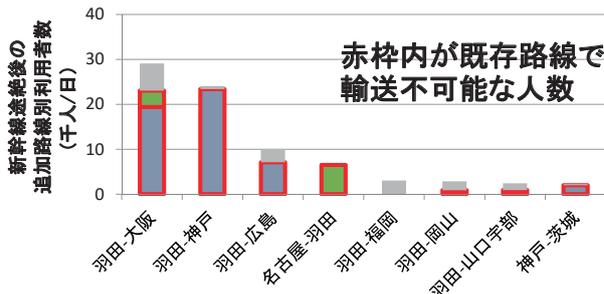
51

## 東海道新幹線途絶時の航空代替輸送需要の推計結果



### 空港需要

空港別で見ると、  
 羽田空港では6万人/日以上  
 の追加需要がかかる



### 路線需要

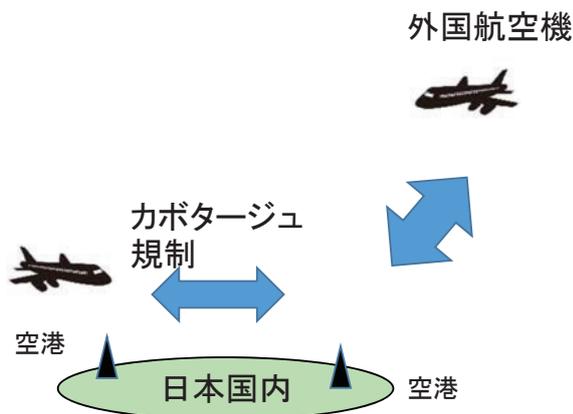
羽田-大阪間の需要が高い  
 が、既存路線で乗れない人は  
 羽田-神戸間のほうが多い

■ 途絶時/平常時 1.5以下 ■ 途絶時/平常時 1.5より大  
 ■ 既存路線で乗れた旅客

52

# カボタージュ規制緩和時の機材確保

カボタージュとは

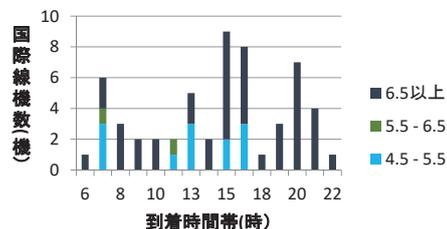


カボタージュ規制を緩和すれば、



日本国内での外国航空機利用が可能となる

日本国内の空港間を折り返すのに4.5時間以上が必要と仮定



成田空港の場合駐機時間が4.5時間以上の機材は54機/日存在<sup>1)</sup>\*

本研究では、成田空港と関西国際空港で駐機時間4.5時間以上の計75機を使う

1)川瀬俊明, 平田輝満・東海道新幹線途絶を想定した航空代替輸送の需要量推計と供給力拡大方策に関する基礎的研究, 第53回土木計画学研究発表会・講演集, pp.57-63, 2016.

\*ANA・JALの国内航空会社保有の機材も含む 53

## 成田・関空の国際機材の国内臨時便活用による経済効果の推計

(2)新幹線途絶によって所要時間が不便になるODから設定したケース

OD名	臨時便航路	運べた人数(人/日)	OD間の経済効果(億円/日)
23区-山口県	成田-山口宇部	1,671	0.112
広島県_横浜	広島-成田	1,238	0.165
広島県_23区	広島-成田	4,613	0.86
兵庫県_川崎	神戸-成田	7,732	0.0762
豊中_23区	成田-関空	3,798	0.232
.	.	.	.
.	.	.	.
	計	28,243	4.12



新幹線途絶によって所要時間が不便になるODから臨時便を設定すると、計28,243人運べて、約4億1200万円/日の経済効果となった

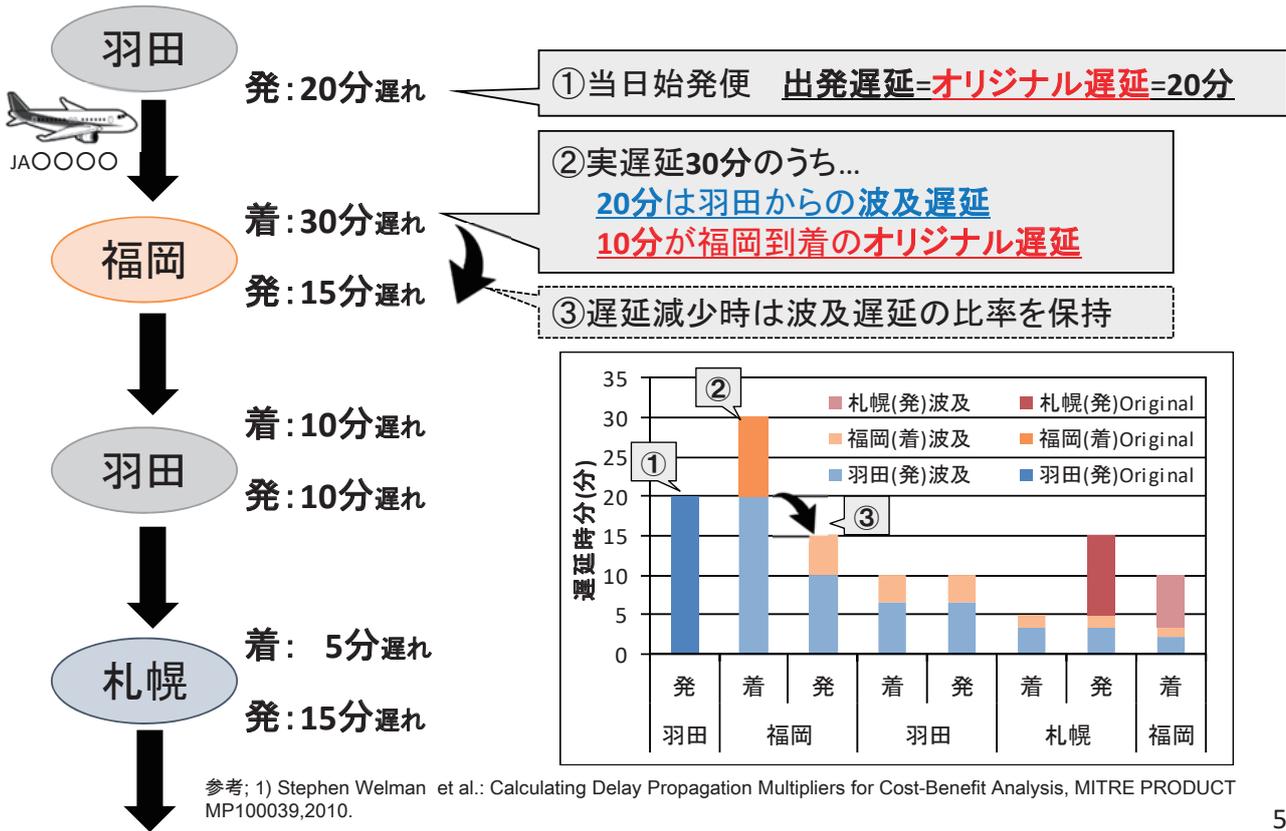
これは1か月に換算すると約124億円の経済効果となり、内閣府中央防災会議が出している南海トラフ大地震被害想定における鉄道分野1か月損害額(4000億円)の約3%を占める

\* 関空の津波被災リスク

\* 危機対応としての、伊丹と神戸の技術的余剰容量の臨時活用策の検討→より経済効果が高まる

# 観測された「遅延」を「オリジナル遅延」と「波及遅延」に分離する

例)ある機材の1日の運用



## 各空港の遅延の発生源はどこか？

➤ 各空港で観測された波及遅延の原因空港の構成比

波及遅延(分)の 構成比	原因空港											総計
	羽田	成田	福岡	関西	伊丹	那覇	新千歳	中部	鹿児島	仙台	その他	
羽田	37.0%	0.0%	6.8%	1.4%	3.1%	6.8%	7.2%	0.7%	3.4%	0.1%	33.6%	100%
成田	0.1%	29.3%	17.6%	11.5%	1.1%	10.6%	12.1%	4.8%	3.4%	0.3%	9.1%	100%
福岡	20.3%	11.4%	25.9%	4.2%	3.3%	13.5%	3.8%	4.6%	1.1%	1.0%	10.7%	100%
関西	7.1%	13.0%	9.0%	32.7%	1.3%	11.4%	13.0%	0.5%	2.3%	1.5%	8.2%	100%
伊丹	15.8%	1.3%	3.8%	0.6%	27.7%	9.6%	10.4%	1.8%	4.2%	1.8%	22.9%	100%
那覇	17.3%	6.5%	8.3%	7.1%	6.0%	35.5%	2.8%	2.2%	0.6%	0.3%	13.4%	100%
新千歳	18.9%	7.6%	4.6%	6.5%	7.5%	5.6%	28.1%	8.2%	0.7%	1.8%	10.4%	100%
中部	4.5%	5.8%	10.3%	0.8%	3.9%	8.9%	19.4%	20.4%	7.7%	1.4%	16.9%	100%
鹿児島	29.0%	6.3%	2.2%	3.3%	14.5%	1.9%	3.7%	9.5%	21.5%	0.6%	7.5%	100%
仙台	2.6%	1.1%	6.6%	3.8%	14.9%	6.4%	32.9%	12.0%	0.2%	10.1%	9.4%	100%
その他空港	41.0%	1.6%	4.2%	1.5%	7.8%	7.7%	5.6%	3.5%	1.0%	0.3%	25.7%	100%
総計	27.0%	4.9%	7.8%	4.6%	6.9%	10.0%	9.9%	4.1%	2.7%	0.8%	21.3%	100%

例) 羽田で発生した遅延の約37%は自空港に起因 福岡・那覇・新千歳起因はそれぞれ約7%

- 各空港で観測された波及遅延の多くは自空港に起因する(折返しでの波及)
- 寄与率はおおむね各空港における路線展開状況に影響を受ける
  - ⇒福岡・伊丹・那覇・新千歳・鹿児島・その他(地方空港)で羽田空港起因の遅延が目立つ
  - ⇒関西は成田や新千歳の寄与率が高位

出典)FlightRadar24データ, エアラインHPから独自に集計(サンプルデータなので全体の傾向を必ずしも示していない可能性がある)

# 遅延の原因データ

遅延原因	遅延時間			構成比			構成比(空白/不明除く)			便数構成比(再掲)
	Original	Prop	総計	Original	Prop	総計	Original	Prop	総計	
不明	922511	1386788	2309299	71.1%	64.2%	66.8%	—	—	—	—
1(ハンドリング)	32741	68625	101366	2.5%	3.2%	2.9%	8.7%	8.9%	8.8%	5%
2(機材機器故障)	44328	100574	144902	3.4%	4.7%	4.2%	11.8%	13.0%	12.6%	3%
3(運航管理)	5955	16943	22898	0.5%	0.8%	0.7%	1.6%	2.2%	2.0%	0%
5(気象)	39771	89385	129156	3.1%	4.1%	3.7%	10.6%	11.6%	11.3%	3%
6(空港/航空当局)	55602	94222	149824	4.3%	4.4%	4.3%	14.8%	12.2%	13.1%	8%
7(機材繰り)	186319	381561	567880	14.4%	17.7%	16.4%	49.7%	49.4%	49.5%	79%
9(その他)	9864	20784	30648	0.8%	1.0%	0.9%	2.6%	2.7%	2.7%	1%
総計	1297091	2158881	3455972	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

- 総遅延時間(オリジナル+波及)ベースで集計しても未だ5割は機材繰りを原因としている。
- オリジナル・波及遅延とも全体に占める各原因区分の割合はオリジナル・波及でほぼ同一か波及の方が若干大きい傾向を示すが 空港・航空当局(管制指示)に関してはオリジナル遅延に対して波及遅延の占める割合が小さい。

- 遅延原因・発生時刻別の総遅延量分布
- 空港/航空当局による総遅延量は午前ピークを有する他の分布(機材繰りを除く)と異なり夕方~夜にピークを有する  
⇒ 波及遅延の影響が小さい

▼Original発生便 AOBT時	不明	1(ハンドリング)	2(機材機器故障)	3(運航管理)	5(気象)	6(空港/航空当局)	7(機材繰り)	9(その他)	総計
6	44308	386	567	373	1125		495		47254
7	213922	4172	5507	414	5744	1844	1337	89	233029
8	199410	11409	12383	1094	13961	5509	8506	52	252325
9	182107	7133	16387	5217	10154	7648	23893	982	253525
10	216972	8451	13623	3700	11791	8136	34494	2850	300019
11	200640	6477	12645	1441	13742	9088	45826	5061	294920
12	184780	6993	8774	740	11401	10074	56226	7609	286598
13	184004	5621	14182	309	7067	9589	59438	552	280732
14	170330	6257	11421	1400	8891	6500	58963	411	264173
15	147250	9082	9048	505	11858	9216	61278	2779	251017
16	134251	8902	7729	1852	7249	11379	53015	3621	227996
17	148765	8463	10516	1113	8867	16434	49678	2591	246427
18	107352	7051	7743	2203	6682	13563	44876	1247	190716
19	99223	5373	5573	1597	3165	17797	36174	2279	171181
20	49470	4289	4354	511	3100	17337	19961	395	99416
21	14672	1284	2944	103	2112	5029	9519	30	35692
22	2592	21	918	325	239		1882		6659
総計	2300050	101366	144282	22898	127148	149824	565561	30547	3441675

出典)FlightRadar24データ, エアラインHPから独自に集計(サンプルデータなので全体の傾向を必ずしも示していない可能性がある) 57

# 出発遅延時間

時間帯別	SOBT時	04関西	05伊丹	53神戸	01羽田	02成田	03福岡	06那覇	07新千歳	08中部	09鹿児島	10仙台	グループ1	総計
6	1.1				3.2	4.8							0.9	3
7	3.7	2.9	1.3		3.5	3	3	3.3	3.3	3.1	3.9	0.5	2.4	3
8	2.8	4.3	1.7		3.8	6.9	4	2.5	3.5	3.3	6.4	1.4	2.5	3.5
9	1.8	3.7			4.7	5.6	4.9	5.8	7.2	3.1	3.6	3.3	3	4.1
10	8.4	3.9	11.5		5.3	8.4	5.7	8	6.1	5.5	3.9	2.8	3.4	4.9
11	6.2	4.3	3.4		5.7	10.1	6.7	7.7	5.9	6	4.1	2.9	4.6	5.5
12	5.8	4.1			4.6	7.8	8	9.9	7.1	4.6	9.2	4.1	5.3	5.7
13	7.1	4.3			5.2	2.7	7.6	12.1	8.7	6.6	10.1	1.7	6	6.7
14	6.3	4.8			6.2	17.1	8.6	14.2	8.6	5	9.7	4.8	5.5	7.2
15	7	4.2			5.4	20.1	7.8	10.7	8.8	8.7	12.3	6.6	5.7	6.6
16	16.6	4.5	7		5.6	6.4	7.5	13.3	8	6	9.6	8.4	7.4	7.2
17	10.2	4.8			7.1	12.3	8.1	9.3	10.9	9.2	7.4	4.6	6.4	7.3
18	2.1	7.6			7.5	11.3	9.3	11.5	11.6	6.7	5.1	8.8	5.7	7.9
19	6.4	5.7			7.2	9.5	8.5	14.1	9.1	5.4	11.9	4.4	7.8	7.5
20	10	3			7.3	19.2	14.3	8.5	9	5.8	8.1	6.1	7.2	8.2
21	7.1		7.5		5.3		6.3	1.7	3.1	4.3			6.1	5
22					6.1									6.1
総計		6.2	4.4	4.7	5.5	10	7.3	10.2	7.7	5.5	7.4	4.5	5.2	6
月別	月	04関西	05伊丹	53神戸	01羽田	02成田	03福岡	06那覇	07新千歳	08中部	09鹿児島	10仙台	グループ1	総計
2		9.6	3.7	欠測	5.4	4	7.1	13.2	14.9	7.4	4.7	6.3	5.1	6.3
3		4.1	6.8	欠測	6.2	3.3	6.7	13.2	8.6	6.9	8.3	8.1	6.2	6.8
4		3.8	3.5	欠測	4.1	1.8	7.3	10	2.2	3.6	6.3	2.1	4.2	4.3
5		3.8	2.8	欠測	3.8	7.4	4.3	6.9	3.9	3.7	6.7	2.4	3.4	3.9
6		5.3	3.1	欠測	3.7	9.2	5.5	9.4	5.2	4.8	7.7	2.9	3.9	4.6
7		5.6	3.2	1.9	4.7	9.3	5.1	8	7.8	3.9	5.9	3.7	4	5
8		7.8	5.8	6.8	8.8	15.1	9.4	10.5	12.7	7.7	10.8	7.5	7.7	8.8
9		7.6	4.8	4	7.1	12	9.3	14.5	7.2	5.6	10.2	3.9	6.9	7.5
10		5.6	4	3.9	5	8.7	8.3	9.4	6.3	5	6.9	4.1	4.8	5.6
11		6	7.1	7	6.1	7.7	8.2	9.7	9.5	6.8	5.6	6.3	5.5	6.7
総計		6.2	4.4	4.7	5.5	10	7.3	10.2	7.7	5.5	7.4	4.5	5.2	6

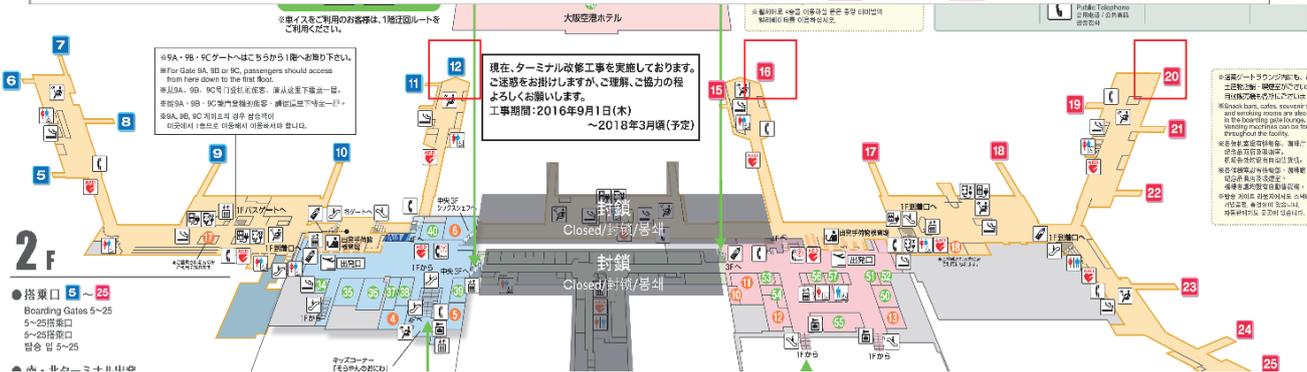
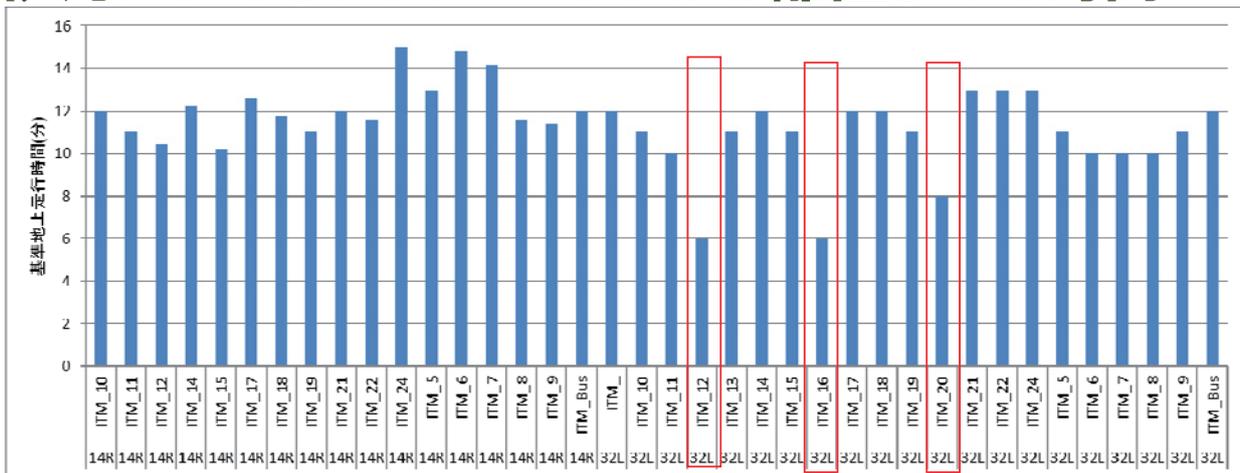
出典)FlightRadar24データ, エアラインHPから独自に集計(サンプルデータなので全体の傾向を必ずしも示していない可能性がある)

# 遅延理由

コード	遅延理由詳細	04関西	05伊丹	53神戸	01羽田	02成田	03福岡	06那覇	07新千歳	08中部	09鹿児島	10仙台	その他空港	総計
11	旅客および手荷物	0.61%	0.20%	0.00%	0.54%	1.02%	0.08%	0.85%	0.04%	0.37%	0.70%	0.00%	0.09%	0.31%
12	貨物および郵便	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
13	航空機とランプハンドリング	0.20%	0.99%	0.00%	1.33%	0.34%	0.08%	0.03%	0.11%	0.07%	0.09%	0.17%	0.11%	0.44%
18	ハンドリング一般	0.20%	3.11%	1.00%	12.55%	0.68%	0.97%	3.92%	3.45%	2.10%	2.09%	0.33%	0.72%	4.35%
21	整備関連	0.81%	4.50%	2.00%	3.84%	1.36%	3.48%	2.04%	2.16%	3.82%	2.35%	1.83%	2.34%	2.87%
22	航空機損傷	0.20%	0.07%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%
28	機材機器故障一般	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.02%
31	運航管理および乗務員	0.81%	1.19%	1.00%	0.31%	0.68%	0.08%	0.14%	1.03%	1.27%	0.09%	0.00%	0.18%	0.37%
51	降雪(除雪)	0.41%	0.46%	1.00%	0.40%	0.00%	0.00%	0.00%	2.53%	0.75%	0.00%	0.50%	0.38%	0.51%
52	強風・台風・強雨	0.41%	0.53%	0.00%	1.23%	0.34%	0.46%	0.55%	1.06%	0.67%	1.05%	0.50%	0.62%	0.79%
53	視程不良(霧)	0.20%	0.99%	0.00%	0.44%	1.02%	0.08%	0.07%	0.22%	0.45%	0.26%	0.00%	0.29%	0.32%
54	地震(直接・間接問わず)	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.01%
55	その他要因・要因不明	0.61%	0.20%	0.00%	0.30%	0.00%	0.25%	0.20%	0.11%	0.45%	0.52%	0.00%	0.27%	0.27%
58	気象一般	1.01%	1.32%	0.00%	1.02%	2.71%	0.76%	0.17%	0.55%	0.75%	0.70%	0.50%	0.51%	0.71%
61	エンルート混雑等	0.00%	0.07%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
62	保安検査/CIQ	0.00%	2.78%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	1.10%	0.00%	0.00%	0.00%	0.02%	0.23%
63	地上混雑等	0.20%	0.00%	0.00%	0.04%	0.00%	0.04%	0.10%	0.00%	0.07%	0.26%	0.00%	0.11%	0.07%
67	「管制の指示のため」	1.83%	9.60%	23.00%	0.73%	7.80%	12.04%	11.28%	0.29%	3.82%	23.10%	0.50%	18.04%	8.13%
68	空港/航空当局一般	0.00%	0.07%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%
71	機材繰り/前便遅れ	92.49%	72.87%	72.00%	76.51%	84.07%	81.24%	80.03%	86.87%	84.56%	68.53%	95.68%	80.79%	80.02%
91	その他	0.00%	0.07%	0.00%	0.02%	0.00%	0.04%	0.00%	0.00%	0.07%	0.00%	0.00%	0.03%	0.02%
93	障害(エアライン内因)	0.00%	0.73%	0.00%	0.26%	0.00%	0.13%	0.20%	0.22%	0.52%	0.09%	0.00%	0.13%	0.21%
94	障害(事故点検等 エアライン外因)	0.00%	0.26%	0.00%	0.42%	0.00%	0.25%	0.34%	0.22%	0.22%	0.17%	0.00%	0.35%	0.32%

出典)FlightRadar24データ, エアラインHPから独自に集計(サンプルデータなので全体の傾向を必ずしも示していない可能性がある)

# 伊丹におけるプッシュバックから離陸までの時間



出典)FlightRadar24データ, エアラインHPから独自に集計(サンプルデータなので全体の傾向を必ずしも示していない可能性がある)

## RJOO AD 2.21 NOISE ABATEMENT PROCEDURES

### 1. Local flying restrictions:

1.1 In order to reduce the noise impact in the vicinity of airport, no jet airplane fitted with three or more engines shall be permitted to operate except in an emergency situation or with prior permission of the airport administrator.

1.2 No aircraft which produce the noise exceeding the maximum allowable levels shown in the following table, shall, except in an emergency situation, be permitted to operate. However, A-300 type of aircraft shall not exceed the noise level 97dB (A) whenever take off from RWY 32L/R.

Time(UTC) / Maximum Allowable Noise Level

22:00 - 11:00 / 107 dB (A)

11:01 - 12:00 / 100 dB (A) for take off, 107 dB (A) for landing

Note: (a) All aircraft operators are requested to present in advance their "Operation Manuals" to the airport authority, giving there in the detailed information on the following items specified for each time bracket and aircraft type.

(1) Maximum takeoff weight calculated for each runway to be used, temperature, and headwind component.

(2) Flap angle.

(3) Climb speed.

(b) The figures of the noise level shown in the above Table will be the value to be measured by the noise monitoring equipment installed at the position 2,400 meter from the threshold of Runway 14R on 315 DEG magnetic (Kushiro Primary School).

1.3 Aircraft using taxiway B and departing from runway 32L at Osaka International Airport, in principle, shall make Intersection takeoff via taxiway W2. In this case, available runway length is 2700m from runway 14R threshold. In case of having intention of making full length takeoff for the operational requirements, the pilot shall advise ATC to that effect when he initiates call for ATC clearance and shall follow procedures under specified.

(a) In principle, departing aircraft shall not hold on taxiway W1.

(b) In principle, aircraft shall hold short of NO.1 stop line until receiving taxi clearance.

(c) Whenever practicable, pilots are urged to make rolling takeoff without stopping at the threshold and to achieve takeoff power at position 370m from the threshold with gradual advance of power lever after passing the threshold.

1.4 For landing on Runway 32 and 14: A non-instrument or visual approach shall not be made at an angle less than the ILS glide path or PAPI indicates.

1.5 For circling approach to Runway 14: Weather conditions permitting, an aircraft making circling approach is to be requested to maintain an altitude as high as practicable.

63

## 2. Noise Abatement Operating Procedures

(1) For all jet aircraft, in order to reduce aircraft noise in the vicinity of airport, the following procedures shall be applied unless compliance of the procedures adversely affects the safety of aircraft operations. In case that the aircraft is unable to take these procedures, pilots should execute alternative procedures which are considered to be practically equivalent.

i) For take-off

Steepest Climb Procedure

ii) For landing

Delayed Flap Approach Procedure and Reduced Flap Setting Procedure

iii) Reverse Thrust (landing RWY32L)

Between 1000UTC (1900JST) and 1200UTC (2100JST), the use of reverse thrust is limited to idle except for safety reasons.

(2) Preferential Runways Procedures

Nil

(3) Noise Preferential Routes

For all departing aircraft, in order to prevent the enlargement of aircraft noise affected area around the airport, the following noise preferential routes are applied except for safety reasons.

i) Take-off from runway 32R/32L:

After take-off, execute continuous left climbing turn so as to pass over near ITE VOR/DME and keep flight track within the area defined by Chugoku Express Way at the north end, ponds of Zuga and Koya at the south end, and Muko River at the west end until crossing ITE VOR/DME 2.2DME, then proceed via SID.

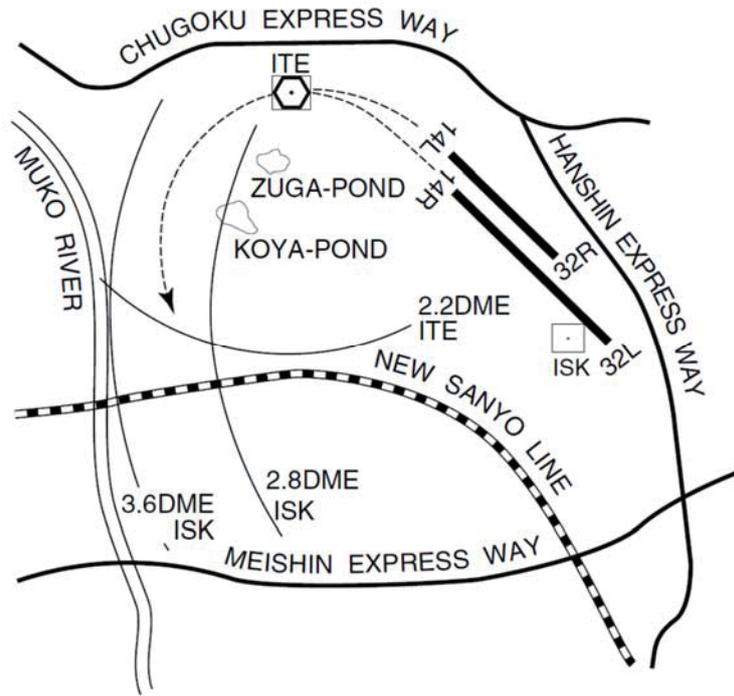
ii) Take-off from runway 14R/14L:

After take-off, strictly follow extended runway centerline until passing Hanshin Express Way and then execute climbing turn so as to proceed via SID.

Note: Refer attached chart for the above mentioned landmarks.

PDFimage/RJOO\_AD\_2\_21\_Landmarks\_referred\_by\_Noise\_Abatment\_Procedure.pdf

64



一般財団法人関西空港調査会

〒543-0021

大阪市天王寺区東高津町 11 番 9 号 上本町ビル 11 階

電話 06-6767-0800 URL <http://www.kar.or.jp>

