

# 報告1 航空路の混雑への経済学的アプローチ

西澤 宏員

神戸大学大学院経営学研究科

博士課程(後期課程)

hiokazu.nishizawa@stu.kobe-u.ac.jp

(国土交通省 関西空港事務所)

西澤 宏員

神戸大学大学院経営学研究科

博士課程(後期課程)

hiokazu.nishizawa@stu.kobe-u.ac.jp

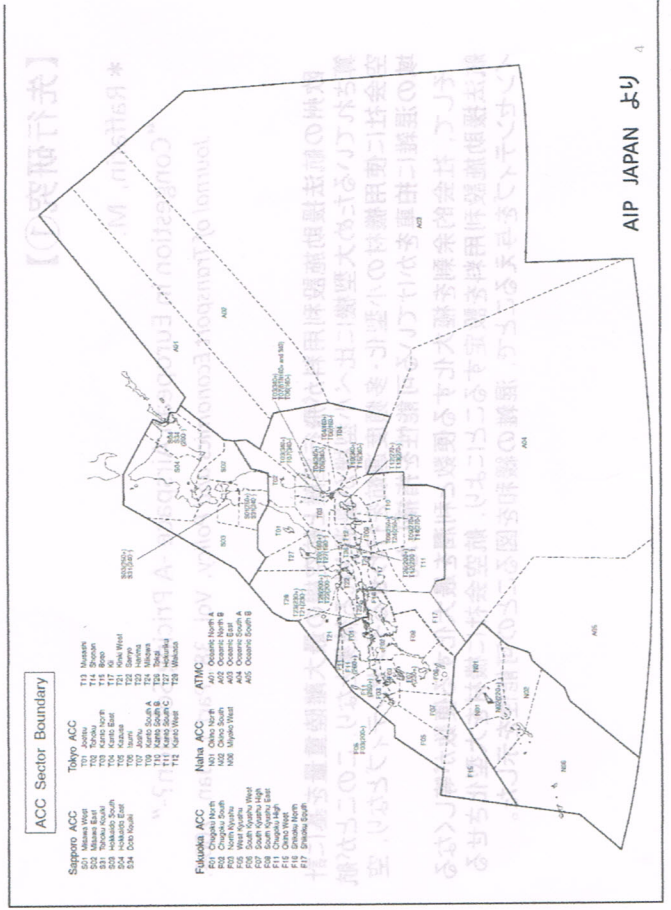
(国土交通省 関西空港事務所)

## <報告の目的>

- \* 航空路の混雑状況
- \* 航空路(空域)の混雑にも、空港(滑走路)の混雑問題と同様に研究者の関心が集まれば...
- \* 航空路の混雑にも経済学的アプローチを
- \* モデルを作成し、今後の研究につなげる(オークション・優先価格など)



第35回 ATSSシンポジウム(2013年10月26日)資料より



AIP JAPAN より

## 【航空路の混雑状況②】

### 【① 拡大乗客の航空路】

#### 国際交通流制御の現状

仁川ACCから日本へ要請されるもの

対象：韓国以遠に飛行するもの（中国・モンゴル・ロシア・ヨーロッパ便）	
平成23年	301回
平成24年	268回

中国に起因する制限における航空機間の時間間隔（平成24年）

15分未満	56%
15分以上30分未満	27%
30分以上60分未満	13%
60分以上	4%

（注）料費（日本円）（平成24年） 第35回 ATISシンポジウム（2013年10月26日）資料より

5

## 【先行研究②】

\* Castelli, L., Pesenti, R., Ranieri, A.

“The design of a market mechanism to allocate Air Traffic Flow Management slot”

*Transportation Research C*, Vol. 19, Issue 5, Aug. 2011.

繰り返し組み合わせオプティミゼーションに基づいた市場メカニズムを提案した。混雑空域を対象とした交通流制御によって計算された入域時刻をスロットとし、そのスロット配分方式である所謂『先入れ・先出し』方式の改善点として、指定されたスロットより早いスロットを手に入れるために航空会社は喜んで支払いを行うとの仮定のもと、さらに遅いスロットを受け入れた航空会社に遅延費用を補償するモデルを提案した。

7

## 【先行研究①】

\* Raffarin, M.

“Congestion in European Airspace - A Pricing Solution? -”

*Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 38, Part 1, Jan. 2004.

欧州の航法援助施設利用料が飛行距離と航空機の最大離陸重量を基に計算されているため大型機に比べ小型機が優遇される結果となり、このことが航空会社で使用機材の小型化・多頻度運航を行わせるインセンティブとなり、空域の混雑に拍車をかけている可能性を指摘した。

そして、社会的余剰を極大化する便数と利潤を最大化する便数が等しくなる航法援助施設利用料を設定することにより、航空会社に機材を大型化させるインセンティブを与え、混雑の緩和を図ることの可能性を示した。

U.S. MARSHAL 91A

6

## 【先行研究③】

\* Jovanović, R., Tošić, V., Čangalović, M., Stanojević, M.

“Anticipatory modulation of air navigation charges to balance the use of airspace network capacities”

*Transportation Research A*, Vol. 61, Mar. 2014.

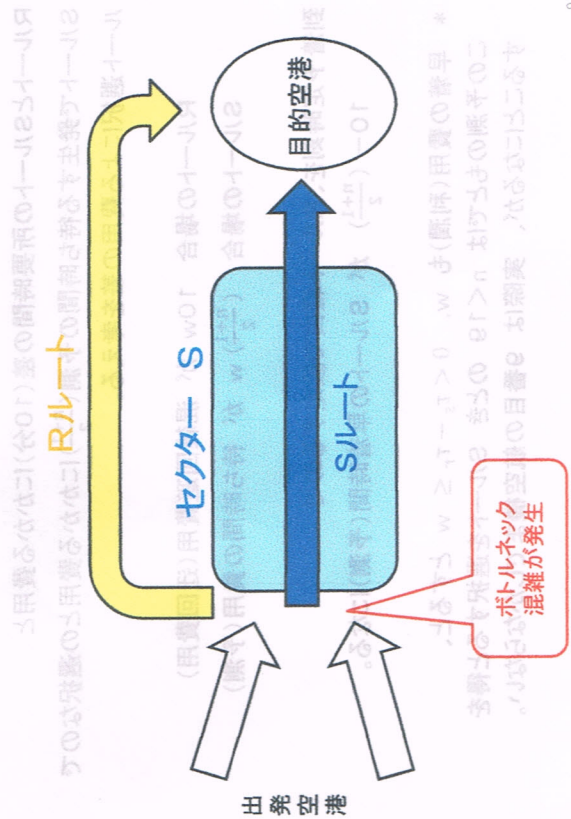
航法援助施設利用料を時間帯ごとに調節し、それが空域利用者にとって費用最小になる方法を提案しモデルを発展させようとした。

そのために、bi-level optimization problemとして概念化し、フルシヤワACCのデータを用いて混雑空域ネットワークにおける通行料と補助金の税制中の立の賦課が、容量の点では現在の需要管理方式より効果的な公平で衡平な経路設定を生じさせる可能性を示唆した。

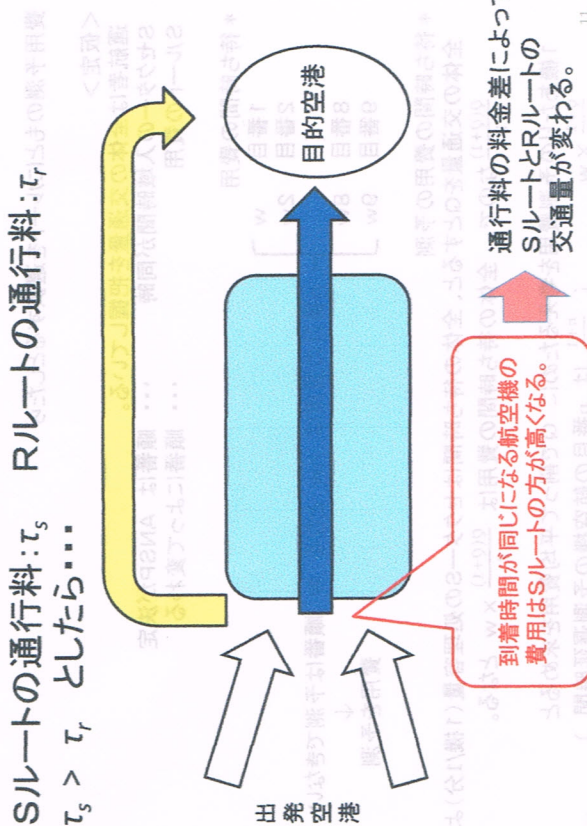
8



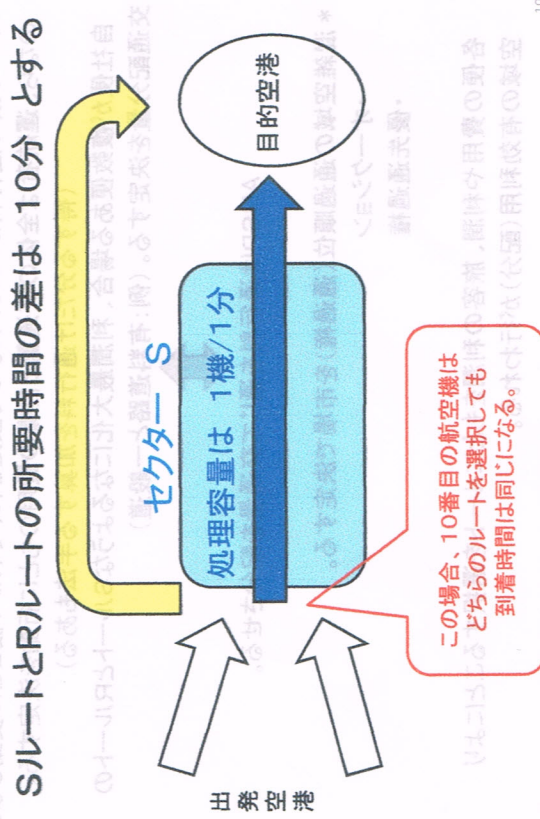
### 【混雑セクターと迂回経路①】



### 【混雑セクターと迂回経路③】



### 【混雑セクターと迂回経路②】



### 【SルートとRルートの交通量①】

各航空機が費用を最小とするルートを選ぶと仮定すると、

セクターSの処理容量 ... 1機/1分  
 SルートとRルートの所要時間の差 ... 10分  
 1分あたりの費用 ...  $w$

Rルートの追加費用	$w \times 10分 + \tau_r$	$= 10w + \tau_r$
Sルートの追加費用	1機目 $w \times 1分 + \tau_s$	$= w + \tau_s$
	2機目 $w \times 2分 + \tau_s$	$= 2w + \tau_s$
	...	...
	8機目 $w \times 8分 + \tau_s$	$= 8w + \tau_s$
	9機目 $w \times 9分 + \tau_s$	$= 9w + \tau_s$

0 <  $\tau_s - \tau_r \leq w$  のとき Sルートの交通量は 9機  
 $w < \tau_s - \tau_r \leq 2w$  のとき Sルートの交通量は 8機

これを超える交通量はRルートの交通量となる。



## 【SルートとRルートの交通量②】

費用予測のもとにルートを選択するとしたら

<仮定>

運航者は全体の交通量を把握している。

Sセクターの入域時間が同時 ... 順番は ANSPIが決定

Sルートの費用 ... 順番によって変わる

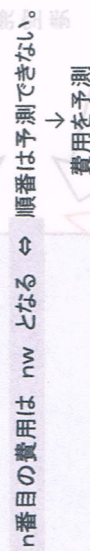
\* 待ち時間の費用

1番目  $w$

2番目  $2w$

8番目  $8w$

9番目  $9w$



\* 待ち時間の費用の予測

全体の交通量を $Q$ とすると、全体の待ち時間はセクターSの処理容量(1機/1分)より

$\frac{Q(Q+1)}{2}$  となるので、全体の待ち時間の費用は  $\frac{Q(Q+1)}{2} \times w$  となる。

1機あたりの予測費用を考えると  $\frac{Q+1}{2} \times w$  (  $\frac{n+1}{2}$  は n番目の航空機の予測遅延時間 )

13

## 【到着時刻選択モデル①】

運航者は、乗客が希望する時刻を到着予定時刻として、そこからRルートの所要時間をもとに各航空機の出発時刻を設定すると仮定する。

(Rルートは十分に容量が大きいため混雑による遅延は発生しないと仮定)  
Rルートを選択した場合は予定時刻に到着するが、Sルートを選択した場合は早着(遅延)することとなる。

Sルートの遅延なしの所要時間を  $T$

SルートとRルートの所要時間の差を10分

Rルートの出発予定時刻を  $R-EOBT$ , 到着予定時刻を  $R-ETA$

Sルートの出発予定時刻を  $S-EOBT$ , 到着予定時刻を  $S-ETA$  とすると

$$R-EOBT + T + 10 = R-ETA$$

$$S-EOBT + T + \frac{n+1}{2} = S-ETA \quad (n番目の航空機の予測)$$

14

## 【到着時刻選択モデル②】

RルートとSルートの所要時間の差(10分)にかかると費用と

Sルートで発生する待ち時間の予測  $(\frac{n+1}{2})$  にかかると費用との選択なのでルート選択による費用の差を考える。

Rルートの場合  $10w$  が 混雑回避費用(迂回費用)

Sルートの場合  $(\frac{n+1}{2})w$  が 待ち時間の費用(予測)

到着予定時刻を、Rルート経由で設定するので

$10 - (\frac{n+1}{2})w$  が Sルートの早着時間(予測)になる。

\* 早着の費用(利潤)も  $w$ ,  $0 < \tau_s - \tau_r \leq w$  とすると、

この予測のもとでは  $n < 19$  のとき Sルートを選択すると得をするようになるが、実際は 9番目の航空機までしかならない。

15

## 【今後の研究課題】

\* ルート別の通行料がANSPIによって設定され、それが1機ごとに変動しないのなら、運航者は全体の交通量と自機の費用のもとに行動を決定する。

(得する分だけ通行料を加算する手法もある)

自社便が複数ある場合、利潤最大化になるようなSルートとRルートの交通配分量を決定する。(例: 有料道路と一般道)

ANSPIは通行料を通じて交通量を配分させる。

\* 混雑空域の通過順位(通過権)を市場で決定する。

・オークション

・優先通過権

各便の費用や利潤、旅客の利潤をもとにルートを選択することにより空域の有効利用(配分)が行われる。

16