

## 兵庫県南部地震時における航空ネットワークの役割に関する考察

*A Study about the Role of the Aviation Network at Hanshin-Awaji Disaster*

黒田勝彦\*, 竹林幹雄\*\*, 正木智也\*\*\*

By Katsuhiko KURODA\*, Mikio TAKEBAYASHI\*\* and Tomoya MASAKI\*\*\*

### 1. はじめに

兵庫県南部地震では、航空輸送は中長距離輸送交通機関で鉄道輸送に代わる代替交通としての機能を果たした。また、地震後の復旧支援活動なども航空輸送を通じて行われ、大災害時における航空輸送のあり方、空港の果たす役割が問われる結果となった。

そこで、こうした地震後の状況を踏まえて、本研究では、鉄道の不通によって生じたOD交通量の減少分を航空輸送がどの程度まで補うことができたのか分析することによって、地震発生後に航空輸送が果たした役割について評価を行う。そして、災害時における航空輸送のあり方について考察を行う。

### 2. 経路選択モデルの構築

#### (1) 経路選択行動の考え方

本研究では、多くの旅行者は、一部鉄道路線の不通のためある程度費用が高くなっても確実に移動することができ、かつ可能な限り最短時間でトリップできる経路を選択したものと考え、旅行者の行動基準を時間最短基準によるものとして定式化を行った。

なお、本研究では鉄道路線の寸断区間に極めて大きな値の交通抵抗を設定している。そのため、この間のリンクを通る旅行者には膨大な旅行時間がかかることとなる。よって、実質的にはこの区間を含む鉄道によるトリップが行えないことと同意になると考えられ、このトリップが行えない人数を初期のOD交通量から減じたものを「地震後のOD交通量」

*Key Word* 交通行動分析

\*フェロー会員 神戸大学工学部建設学科

(神戸市灘区六甲台町1-1)

\*\*正会員 神戸大学工学部建設学科

\*\*\*学生員 神戸大学大学院自然科学研究科建設学専攻

としている。また初期のOD交通量は、平成3年度の幹線旅客純流動調査に成長率を乗じて平成7年1月現在のものとした。

#### (2) 時間最短基準による定式化

旅行者の行動は、以下のように記述できる。

$$\min T(x_{ijk}) = \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} \cdot t_{ijk}$$

$$= \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} \left\{ t_{ijk}^{ai} + \sum_l \delta_{ijk}^l \cdot t^l + \sum_l \delta_{ijk}^l \cdot \frac{OT^h}{2y^l} \right\} \quad (1)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_k x_{ijk} = X_{ij} \quad (2)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k \delta_{ijk}^l \cdot x_{ijk} \leq \lambda \cdot y^l \cdot CA^l \quad (\text{for } \forall k \in K) \quad (3)$$

$$x_{ijk} \geq 0 \quad (4)$$

ここで、 $x_{ijk}$  ;  $i, j$  間  $k$  経路の旅行者数

$t_{ijk}$  ;  $i, j$  間  $k$  経路の総旅行時間

$t_{ijk}^{ai}$  ;  $i, j$  間  $k$  経路のアクセス+イグレス時間

$\delta_{ijk}^l$  ;  $i, j$  間  $k$  経路のリンク  $l$  についてのクロネッカー  $\delta$  で  $i, j$  間  $k$  経路がリンク  $l$  を通るときに1をとり、そうでないときには0をとる

$t^l$  ; リンク番号  $l$  のリンクの旅行時間。

$OT^h$  ; ターミナル  $h$  の営業時間

$X_{ij}$  ;  $i, j$  間の旅行者数

$\lambda$  ; ロードファクター (=0.9)

$y^l$  ; リンク  $l$  の運行頻度

$CA^l$  ; リンク  $l$  の機材容量。各リンクには1種類の機材のみとし、リンクに固有の値とする

$K$  ; 航空路線を使用する経路の集合

上記の式において、

(1)式：全旅行者の総所要時間を示す式。この式の第1項はアクセス+イグレス時間を表す項、第2項はラインホール時間を表す項、第3項は平均待ち時間を表す項である。

(2)式：OD保存式。

(3)式：機材容量制限式。

(4)式：非負条件式

### (3) モデルの再現性の検証

上記の式を用いた計算結果ならびに地震後臨時便が運行された航空路線の旅客数実績値を用いてこのモデルの再現性の検証を行った。臨時便が運行された路線における各週の実績値と推定値の相関係数の推移を以下の図-1に示す。

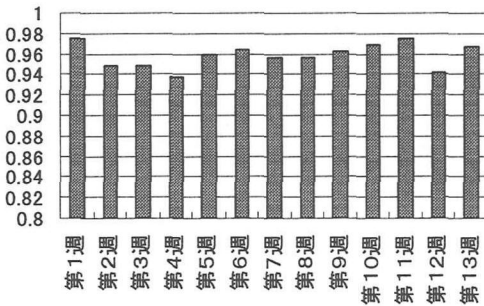


図-1 実績値と推定値の相関係数の推移

この結果、比較的高い相関係数が得られ、現象再現モデルとして十分な再現性をもつことがわかった。しかし頻度の多い路線においては実績値と推定値に大きな差がみられることがあった。これは、本研究では、ロードファクターについて、地震後において航空輸送の利用率が上昇したことを考慮して、0.9と高く設定したため、頻度の多い路線では、過大評価されたことが考えられる。

(4) 臨時便運行路線利用者数と与件とした定式化前節においてこのモデルの再現性が実証されたので、次に、臨時便運行路線の利用者数と与件として定式化を行った。このときの利用者の行動式は以下のように記述できる。

$$\min T(x_{ijk}) = \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} \cdot t_{ijk} \\ = \sum_i \sum_j \sum_k x_{ijk} \left\{ t_{ijk}^{ai} + \sum_l \delta_{ijk}^l \cdot t^l + \sum_l \delta_{ijk}^l \cdot \frac{OT^h}{2y^l} \right\}$$

$$\begin{aligned} \text{s. t. } & \sum_k x_{ijk} = X_{ij} \\ & \sum_i \sum_j \sum_k \delta_{ijk}^A \cdot x_{ijk}^A = X_l \text{ (for } \forall l) \\ & \sum_i \sum_j \sum_k \delta_{ijk}^R \cdot x_{ijk}^R \leq \lambda \cdot y^l \cdot CA^l \text{ (for } \forall l) \\ & x_{ijk} \geq 0 \end{aligned} \quad (5) \quad (6)$$

ここで、 $x_{ijk}^A$ ： $i$   $j$  間  $k$  経路において、リンク旅行者数が既知のリンクを利用する旅行者数

$\delta_{ijk}^A$ ： $i$   $j$  間  $k$  経路リンク  $l$  についてのクロネッカー  $\delta$  で  $i$   $j$  間  $k$  経路が旅行者数既知のリンク  $l$  を通る場合 1 をとり、それ以外は 0 をとる

$X_l$ ： $i$   $j$  間  $k$  経路リンク  $l$  の旅行者数 (既知)

$x_{ijk}^R$ ： $i$   $j$  間  $k$  経路において、リンク旅行者数が未知のリンクを利用する旅行者数

$\delta_{ijk}^R$ ： $i$   $j$  間  $k$  経路リンク  $l$  についてのクロネッカー  $\delta$  で  $i$   $j$  間  $k$  経路が旅行者数未知のリンク  $l$  を通る場合 1 をとり、それ以外は 0 をとる

上記の式において、

(5)式：リンク旅行者数が既知のリンクに関する等号条件式

(6)式：リンク旅行者数が未知のリンクに関するリンク容量制限式

## 3. 航空輸送が果たした役割の評価

### (1) 全体的な傾向の分析

計算の結果より、OD減少数の変化について、以下に示すようないくつかの傾向を読み取ることができる。

- |                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------|
| ① 地震当初はOD減少数が少なく、その後減少数が改善されているODペア<br>関東地方ー中国地方間OD<br>近畿地方ー九州地方間OD |
| ② 地震当初はOD減少数が多いが、その後減少数が改善されているODペア<br>近畿地方ー中国地方間OD                 |

- ③ 地震後しばらくOD減少数が多くなるが、その後は大幅に減少数が改善しているODペア  
 関東地方ー近畿地方間OD  
 関東地方ー九州地方間OD
- ④ 地震当初はOD減少数が少なく、その後も減少数がほとんど改善されないODペア  
 関東地方ー四国地方間OD  
 中部地方ー九州地方間OD  
 近畿地方ー四国地方間OD
- ⑤ 地震当初よりOD減少数が多く、その後も減少数がほとんど改善されないODペア  
 中部地方ー近畿地方間OD  
 中部地方ー中国地方間OD  
 中部地方ー四国地方間OD
- ⑥ 地震当初よりOD減少数が全くない、もしくは時間が経過しても機材が投下されず、全くOD交通量が変化しないODペア  
 北海道、東北、沖縄を発する各OD  
 北海道、東北、沖縄に到着する各OD

以上の傾向のうち、時間経過とともに機材が投下され、減少数が改善されている①～③については、航空輸送が代替輸送としての役割を果たしたODペアであるといえる。一方、時間が経過しても機材が投下されず、減少数が改善されない④～⑥については、航空輸送が代替輸送としての役割を十分に果たせなかったODペアであるといえる。

また、地震当初からOD減少数が少なかった①・④・⑥については、従来より航空輸送が旅行者によって選択されていたものであり、既存の航空ネットワークが十分に発揮されたODペアであるといえる。一方、地震当初はOD減少数が多かった②・⑤については、通常時は鉄道によるOD交通が大半を占めていたために、鉄道路線寸断の影響を大きく受けたものと考えられる。これらの路線については、従来より航空ネットワークがあまり整備されていなかったため、航空輸送が交通機関としての役割を十分に果たせなかったODペアであるといえる。

## (2) 航空需要とOD減少数の関係

時間経過とともにOD減少数が改善されているODペアは、いずれも関東地方および近畿地方を発着とするものである。図-2に、モデル推計による関東地方および近畿地方を発着とするOD減少数を示す。これらのOD交通は、航空需要の高い路線といえる。一方、時間が経過してもOD減少数が改善さ

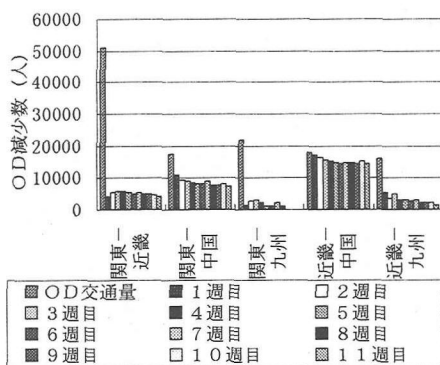


図-2 関東および近畿発着のOD減少数

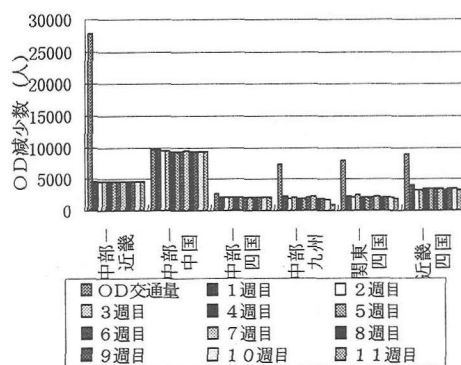


図-3 中部および四国発着のOD減少数

れないODペアは、いずれも中部地方および四国地方を発着とするものである。図-3に、モデル推計による中部地方および四国地方を発着とするOD減少数を示す。これらのOD交通は、航空需要の低い路線といえる。

これは、航空輸送の需要が高い路線ほど、航空会社がそれに対応して運行頻度や路線数を多く設定しているために、災害時にそれが代替輸送としての役割を果たすことにつながったものと考えられる。

## (3) 航空輸送距離とOD減少数の関係

表-2に、OD減少数が地震前のOD交通量に占める割合を示す。

この表より、地震当初にOD減少の割合が高かったものとして、比較的近距离のODペアで挙げられる。一方、地震当初にOD減少の割合が低かったものとしては、いずれも中長距離のODペアが該当する。航空輸送は中長距離輸送に用いられる交通機関であり、近距离輸送においては、OD交通のほとんどが鉄道路線によるものと考えられる。そのため鉄道路線寸断の影響がある地方間のODの場合、近距

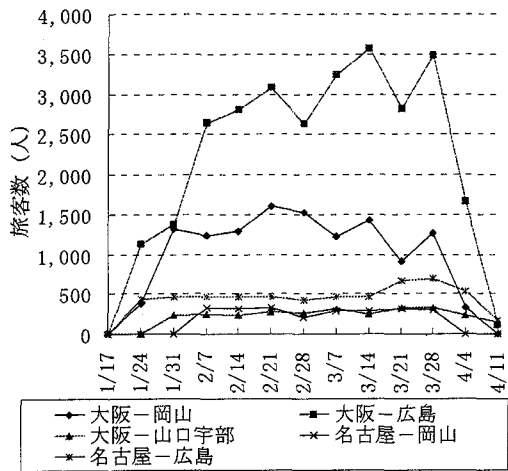
離であるがために航空輸送を行うことができず、結果的に多数の旅行者に影響を与え、OD交通量の減少が改善されなかったことを示している。

表－2 地震当初におけるOD減少率

| 発着ゾーン | 着ゾーン | 減少率(%) | 発着ゾーン | 着ゾーン | 減少率(%) |
|-------|------|--------|-------|------|--------|
| 中部    | 中国   | 100    | 中国    | 中部   | 100    |
| 中部    | 近畿   | 97.4   | 近畿    | 中部   | 96.3   |
| 近畿    | 中国   | 94.7   | 中国    | 近畿   | 93.5   |
| 中部    | 四国   | 75.3   | 四国    | 中部   | 80.1   |
| 関東    | 中国   | 61.8   | 中国    | 関東   | 52.5   |
| 近畿    | 四国   | 45.4   | 四国    | 近畿   | 47.3   |
| 関東    | 近畿   | 36.5   | 近畿    | 関東   | 40.0   |
| 近畿    | 九州   | 34.2   | 九州    | 近畿   | 38.3   |
| 中部    | 九州   | 30.6   | 九州    | 中部   | 28.6   |
| 関東    | 四国   | 28.9   | 四国    | 関東   | 20.7   |
| 関東    | 九州   | 8.1    | 九州    | 関東   | 9.7    |

(4) 臨時航空路線が果たした役割

図－4に、臨時航空路線の旅客数の推移を示す。図－3と図－4より、臨時航空路線の旅客数が伸びている大阪－広島間などを含む近畿地方－中国地方間では、OD減少数が改善されている。一方、旅客数伸び率が低い名古屋－広島間などを含む中部地方－中国地方間ではOD減少数が改善されていない。これは、開設された臨時航空路線の機材容量不足のため、本来であればトリップを行う旅行者が、結局移動手段を失ってしまったためと考えられる。



図－4 臨時航空路線の旅客数

(5) ハブ空港が果たした役割

空港がハブとして利用されるのは、主に航空直行便が運行されていない地方間のOD交通である。地震後には鉄道路線寸断のため鉄道利用者が代替輸送

として航空便を利用したため、従来ハブ空港としての役割を果たしていた空港が、投下機材容量の不足によって、十分にそのネットワークを発揮できなくなっていた。

(6) 災害時における航空輸送のあり方

以上の分析結果から、航空需要の少ない路線および近距離輸送において代替輸送としての役割を十分に果たせなかったことが分かる。よって、今後このような災害時には、通常は航空需要があまりない路線でも利用者増が見込まれるため、空港容量や機材容量の許す範囲で、臨時航空便やコムーター便を増発することが望まれる。しかし、航空機の増発は、そのまま航路の容量に左右されると考えられ、航路容量の拡張のための検討が必要である。

4. おわりに

本研究では、兵庫県南部地震後に航空輸送および空港が果たした役割について、主要航空路線の1日ごとの旅客数データを用い、旅行者の経路別配分計算からOD交通量の減少数を求めることで明らかにした。

今後の検討課題としては、他の交通機関（自動車や私鉄など）による輸送モードを考慮したネットワークモデルの構築などが挙げられる。

<参考文献>

- 1) 三保木悦幸・黒田勝彦・竹林幹雄・春名薫：シュタッケルベルグ問題としての航空ネットワーク分析，土木学会第50回年次学術講演会 iv-390，pp. 780-781，1995. 9
- 2) 土木学会：阪神大震災被害調査緊急報告会資料 pp. 43-87，1995. 2
- 3) 運輸経済研究センター：平成3年度幹線旅客順流道調査
- 4) 運輸省航空局：主要航空路線運行データ