

兵庫県南部地震後における中・長距離旅客流動に関する分析

Long Distance Passengers Flow After the South Hyogo Earthquake

黒田勝彦*, 竹林幹雄**, 正木智也***, 長生武志****

By Katsuhiko KURODA, Mikio TAKEBAYASHI, Tomoya MASAKI and Takeshi NAGAKI

The present paper discusses the influence of the break-down of the bullet train, Shin-kan-sen, between Shin-Osaka and Himeji by the South Hyogo Earthquake, on the long distance passengers flow, and the role of extra flight service by airlines after the earthquake. The passengers' behavior is firstly formulated under the assumption of "minimizing the total travel time". Secondly, the weekly volume of passengers who were inevitably reconciled their trip, was estimated. The analytical results says that the damage of Shin-kan-sen gave a little influence on the long distance trips owing to the extra flight service provided by airlines, but, the middle distance trips, such as, for example, those between Chubu and Kinki region, were enforced to give up, since no flight service were provided.

Keywords: Extra flight service, Long distance trip after earthquake

1. はじめに

兵庫県南部地震は、我が国ではこれまでに前例のない大都市直下型地震として、阪神間を中心に各方面に甚大な被害をもたらした。中でも、我が国の国土軸を形成している阪神地域における交通網の長期的な寸断が及ぼした影響は、阪神間に限らず、我が国全体の物流や経済活動にまで広がる深刻なものとなった。

鉄道においては、東海道・山陽新幹線は京都ー新大阪間で1日120往復、新大阪ー姫時間で1日90往復がそれぞれ運休となった。また在来線の東海道・山陽線でも1日約360往復が運休となり、1日当たり約30万人の足に影響が出た¹⁾。全線が復旧したのは、JR在来線が4月1日、山陽新幹線が4月

キートン：航空輸送、長距離トリップ

*:フェロー会員 工博 神戸大学工学部建設学科

**：正員 工修 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

****：正員 JR九州

8日であった。

しかし、このような状況の中で、航空輸送は中長距離輸送交通に対する鉄道輸送に代わる代替交通機関としての機能を果たしたと考えられる。大阪空港、関西国際空港ともに無傷であり、アクセス交通も大きな影響はなかった²⁾。このため地震直後から、航空会社は臨時便の増発を行い、主に東京・大阪と西日本各地を結ぶ路線を中心に、4月14日までの間に1日平均42便、延べ3672便の臨時便が運行された。特に、新幹線の不通区間における代替交通として、平常時には定期航空便が運行されていない大阪ー岡山間など近距離輸送にあたる臨時航路が設定され、多くの旅行者の輸送を行った。また、地震後の復旧支援活動や救援物資なども航空輸送を通じて行われた。こういったことから、改めて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再考される結果となった。

そこで、こうした地震後の状況を踏まえて、本研究では地震発生後に航空輸送が鉄道路線の寸断による中・長距離旅客の輸送能力減少をどの程度まで補うことができたのかということについて、日単位・

ゾーン単位で分析することで、地震後の中・長距離旅客流動への影響と航空輸送の果たした役割について考察した。

2. モデルの構築

(1) 経路選択行動モデルの構築

本研究では、旅行者は等質であり、同一の行動基準を有するものと考えた。

地震後においては、多くの旅行者は、一部鉄道路線の寸断など様々な状況を考慮した結果、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移動することができる経路を選択したものと考えられる。

以上のように、旅行者の行動基準を総走行時間最小化であると考え、定式化を行った。

(2) 前提条件

モデルの前提条件を以下に示す²⁾。

1. セントロイドは、全てそのゾーンの中心駅に存在するものとした。
2. アクセスおよびイグレスが可能な空港は、出発ゾーンおよび到着ゾーンの中心駅から150分以内に到着可能な空港とする。また、中心駅から150分以内に到着可能な空港が存在しない場合は、最短時間で到着できる空港を利用可能空港とした。
3. 空港および駅での待ち時間は、空港および駅の営業時間を運行頻度で割った平均最大待ち時間を2等分して求められる平均待ち時間とした。
4. 待ち時間については、ラインホール交通の待ち時間のみを考慮し、アクセスおよびイグレス交通については、待ち時間はないものとした。

(3) 旅行者の行動の定式化

時間最短基準とは、アクセス時間、待ち時間、ラインホール時間およびイグレス時間の総和である総所要時間を最短となるように行動することを意味する。ゆえに、以下のように記述することが可能である²⁾。

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

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

s. t.

$$\sum_k x_{ijk} = X_{ij} \quad (2)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k \delta_{ijk}^A \cdot x_{ijk}^A = X_l \quad (\text{for } \forall l) \quad (3)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k \delta_{ijk}^R \cdot x_{ijk}^R \leq \lambda \cdot y^l \cdot CA^l \quad (4)$$

$$x_{ijk} \geq 0 \quad (5)$$

ここで、

x_{ijk} : i j 間 k 経路の旅行者数

t_{ijk} : i j 間 k 経路の総走行時間

t_{ijk}^{ai} : i j 間 k 経路のアクセス+イグレス時間

t^l : リンク l の旅行時間

OT^h : ターミナル h の営業時間

y^l : リンク l の運行頻度 (便/日)

X_{ij} : i j 間の旅行者数

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

X_l : i j 間 k 経路 (既知) リンク l の旅行者数

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

CA^l : リンク l の機材容量

λ : ロードファクター

δ_{ijk}^l : i j 間 k 経路リンク l についてのクロネッカ

— δ (i j 間 k 経路がリンク 1 を通る場合 1 をとり、それ以外は 0 をとる)

δ_{ijk}^A : i j 間 k 経路リンク 1 についてのクロネッカ

— δ (i j 間 k 経路が旅行者数既知のリンク 1 を通る場合 1 をとり、それ以外は 0 をとる)

δ_{ijk}^R : i j 間 k 経路リンク 1 についてのクロネッカ

— δ (i j 間 k 経路が旅行者数未知のリンク 1 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、

(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 i j 間 k 経路の旅行者数の総和が、 i j 間の OD 交通量であることを示す。

(3) 式 : リンク旅行者数が既知のリンクに関する等号条件式リンク旅行者数が既知リンクについて、あらかじめリンク旅行者を等号条件として与えておくことを示す。

(4) 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各リンクに配分される旅行者は、機材容量を超過しないことを示す。

(5) 式 : 非負条件式

ただし、ロードファクターについては運輸白書では 0.7 と示されているが³⁾、本研究では、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 と設定した。

(4) 求解プロセス

本研究における経路選択モデルの求解プロセスを以下に示す。

1. 制約条件についてのデータを与える。
2. 代入された制約条件を用いて、旅行者が選択可能な経路パターンを探索する。
3. 時間最短基準によって、旅行者を算出された経路に配分し、経路別旅行者数を算出する。
4. 算出された経路別旅行者数を用いて、地震後の OD 交通量を算出する。

5. 主要航空リンク旅行者数に関する制約条件を入れ替え、再び 1. へ戻る、という繰り返し計算を行う。

3. 需要の推計

(1) ネットワークの条件

ネットワークの適用範囲は沖縄以外の離島を除く国内全域とする。

本研究の航空ネットワークで取り扱う空港は、ジェット機の離発着が可能なもののうち沖縄以外の離島にあるものを除いた 37 空港とする。また、航空路線の乗り継ぎに関しては、ハブ機能を有する空港を東京国際空港、大阪空港、関西国際空港の 3 空港とする。ただし、長距離を引き返す冗長な経路は考えないこととした。また、乗り継ぎは 1 回限りと限定した。さらに、同一府県間および隣接した府県間の移動については、ネットワークの対象から除外することとした。

一方、鉄道のネットワークで取り扱う駅は、各都道府県の中心駅の 47 駅とする。なお、本研究では鉄道路線の寸断区間（新大阪－姫路間）に極めて大きな交通抵抗を与え、実質的には鉄道路線を利用したトリップが行えない状態を設定した。

またこれらの旅行者は、さらに他の交通機関によってトリップを行ったとも考えられるが、本研究ではモードの設定が複雑となるためネットワークの対象外とした。

(2) 使用データ

各都道府県間発着の OD 交通量については、平成 3 年度の幹線旅客純流動調査⁴⁾のデータを用い、成長率を乗じて平成 7 年 1 月現在の OD 交通量とした。地震後の主要航空路線の日単位でのリンク交通量については、運輸省航空局から入手した旅客輸送実績表のデータ⁵⁾を用いた。また、アクセスおよびイグレス時間、ラインホール時間、運行頻度、機材容量のすべてにおいて、平成 7 年 1 月現在のデータを用いた⁶⁾⁷⁾。ただし、鉄道の運行頻度および機材容量については詳細なデータが入手できなかったため運行頻度は 60 便/日、機材容量は 1000 人/機とした。

(3) 需要算出法の考え方

地震後は鉄道路線の寸断のために、トリップを行えなかった旅行者が多数いるものと考えられる。よって、このような旅行者の分だけ、OD交通量自体が減少していると考えられ、本研究ではこれらの旅行者を総じて「OD減少分」として評価することとした。

航空輸送の鉄道に対する代替輸送機能を把握するために、本研究では、経路別旅行者数から各ゾーン間のOD減少分を求め、それが通常時に比べてどの程度減少しているか分析する。ゆえに本研究では通常よりも需要は小さいことを念頭に置いている。

把握の対象は、鉄道路線寸断の影響を大きく受けたと考えられる、被災地域を通過するゾーン間のODペアとし、それ以外のODペアについては、評価の対象からは除外する。

評価にあたっては、都道府県を表1に示す8つのゾーンに分類し、各地方間におけるOD交通を対象に分析を行った。ただし、兵庫県との間のOD交通ではすべての鉄道リンクが寸断されていたと考えているため、上記の分類とは別に、兵庫県を単独のゾーンとして扱い、兵庫県と中部地方以東間のODペアについても評価の対象に含むこととした。

表1 都道府県のゾーン分類

北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	沖縄
北海道	青森 岩手 宮城 秋田 山形 福島	茨城 栃木 群馬 埼玉 千葉 東京 神奈川 山梨	新潟 富山 石川 福井 長野 岐阜 静岡 愛知 三重	滋賀 京都 大阪 兵庫 奈良 和歌山	鳥取 島根 岡山 広島 山口	徳島 香川 愛媛 高知	福岡 佐賀 長崎 熊本 大分 宮崎 鹿児島	沖縄

4. 航空による旅客輸送の効果

(1) 全体的な傾向

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 地震当初よりOD減少数が少なく、その後も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ODペア 関東地方ー中国地方間OD 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、その後は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ODペア 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、その後は機材が投下され、大幅に減少数が改善しているODペア 関東地方ー兵庫県間OD 関東地方ー九州地方間OD
④ 地震当初はOD減少数が少ないが、その後は時間が経過しても機材が投下されず、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、その後も時間が経過しても機材が投下されず、減少数がほとんど改善されないODペア 中部地方ー兵庫県間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、沖縄を出発する各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、航空路線による移動が旅行者によって選択されていたものである。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、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

よって、今後このような災害時には、高需要路線に対してのみ臨時航空便を増発するのではなく、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、臨時航空便やコミューター便を増発することが望まれる。

(3) 航空輸送距離とOD交通減少数の関係

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。

この表によると、地震当初においてOD減少の割合が高かったのは、いずれも比較的近距离のODペアである。一般に、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であると考えられる。そのために、鉄道路線が寸断されると多くの旅行者が移動手段を失い結果として地震当初におけるOD減少の割合が高くなったと考えられる。

表-2 地震当初におけるOD減少率

発ゾーン	着ゾーン	減少率 (%)	発ゾーン	着ゾーン	減少率 (%)
中部	中国	100	中国	中部	100
中部	兵庫	97.4	兵庫	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	九州	中部	47.3
関東	兵庫	36.5	四国	近畿	40.0
近畿	九州	34.2	九州	近畿	38.3
中部	九州	30.6	兵庫	関東	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

一方、地震当初においてOD減少の割合が低かったのは、いずれも中長距離のODペアである。中長距離のODペアにおいては、従来から多くの旅行者が航空路線を利用していたと考えられる。そのために、鉄道路線が寸断されても航空路線の利用者は大きな影響を受けずにトリップを行うことができ、結果として地震当初におけるOD減少の割合が低くなったと考えられる。

以上の分析から、長距離輸送においては、航空輸送が交通機関として通常行っている役割を果たしていたといえる。一方、近距离輸送においては、特に鉄道路線寸断の影響がある地方を含む場合、結果的に多数の旅行者に影響を与え、OD交通量の減少が

改善されなかったといえる。今後は、このように航空輸送を行うことが難しい近距离輸送における対策が課題となってくると考えられる。このような路線においてもコミューター機を導入した臨時航空路線を設定するなど、可能な限りの対策が望まれる。

(4) 臨時航空路線が果たした役割

地震後、航空会社は新幹線の代替輸送として、通常時に定期航空便が運行されていない大阪および関西国際空港-岡山、広島および山口宇部空港間と、名古屋空港-岡山および広島空港間に臨時航空路線を設定した。図-3に運輸省航空局より入手した臨時航空路線における旅客数の推移を示す。

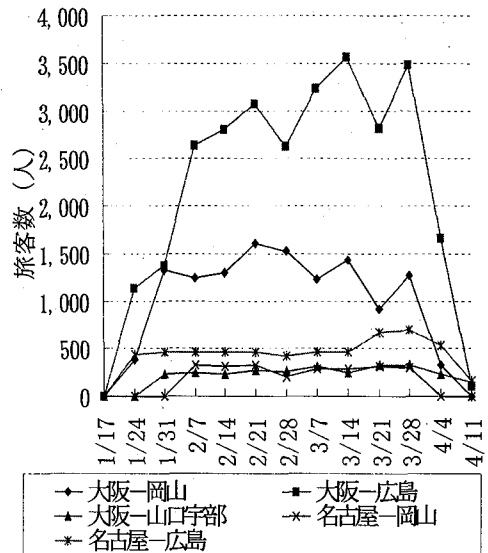


図-3 臨時航空路線の旅客数

近畿-中国間のOD減少数に着目すると、図-3より、地震当初はまだ臨時航空路線が設定されていないにもかかわらず、1日あたり1000人弱のOD交通量が輸送されていることがわかる。これは、定期航空路線を利用したOD交通量である。よって、第2週目以降の減少数の改善が、臨時航空路線によって輸送されたOD交通量であるといえる。

第2週目以降は時間経過とともに改善が見られ、最終的に第11週目には1日あたり約2600人の減少数を補っていることがわかる。

一方、この間臨時航空路線の旅客者数は、時間経過とともに増加しており、第 11 週目には 3 路線合計で 1 日あたり約 5000 人が利用している。すなわち、地震当初は移動不可能旅行者が、時間経過とともに臨時航空路線を代替輸送機関として利用したものと考えられ、臨時航空路線が OD 減少分を補う代替輸送としての役割を果たしたといえる。

また、中部地方ー中国地方間の OD 減少数は、この両地方間に定期航空路線がまったく設定されていないため、地震当初は全く OD 交通量を輸送することができない。さらに、時間が経過しても OD 減少数があまり改善されておらず、第 11 週においても 1 日あたり約 500 人の減少数しか補っていない。この間、臨時航空路線の旅客者数はほぼ横ばいで推移しており、2 路線合計で 1 日あたり 700~900 人前後が利用している。その要因としては、地震後に航空会社が設定した臨時航空路線の機材容量が少なかったことが考えられる。

臨時航空路線の利用者数のうち、その路線を含むゾーン間の OD 減少分にかかわっているのは約半数である。すなわち、臨時航空路線の利用者の約半数は、臨時航空路線を経由して到着空港とは別のゾーンへのトリップに利用した、あるいは出発空港とは別のゾーンから臨時航空路線を経由するトリップに利用したものと考えられる。

5. まとめ

本研究では、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鉄道路線の寸断による OD 減少数を求めることによって、地震後の中・長距離旅客の需要と、航空路線の鉄道路線に対する代替機能の効果についての把握を行った。本研究で得られた結果を以下にまとめて示すこととする。

1. 地震による鉄道路線の寸断によって、OD 間のトリップに支障をきたす旅行者が多数生じることが確認された。特に、航空輸送の需要が少ない地方間や、航空路線が整備されていない近距離における OD 交通では、ほとんどの旅行者が影響を受けることが明らかになった。一方、航

空輸送の需要が多い地方間や、長距離における OD 交通では、OD 間のトリップに支障をきたす旅行者があまり生じないことも明らかになった。

2. 地震後に、航空会社が新幹線の代替輸送として運行した臨時航空便は、鉄道路線寸断の影響を受けた旅行者によって利用され、その役割を果たしたことが確認された。また、臨時航空便が経由便としても利用されることが明らかになった。しかし、名古屋空港発着の臨時航空便では機材容量の不足による積み残しが生じるなどの問題を残した。

以上の結果より、兵庫県南部地震のような大災害時において、中長距離輸送では、航空輸送が鉄道の代替輸送としての役割を果たすことが可能であると分かった。しかし近距離輸送では、航空輸送が代替輸送としての役割を求められていたにもかかわらず、その役割を十分に果たせ

たとはいえなかった。よって今後も、このような大災害時には、必要に応じて代替輸送として臨時航空便を運行することが求められるといえるが、より効果的な代替輸送を行うために検討すべき課題として、以下に示すような事項があげられる。

- ・被害地域に隣接した地方間における近距離輸送に対する臨時航空便の増便
- ・地方空港ー大都市圏にある空港間の航空便の増便
- ・地方空港間同士の臨時路線の開設
- ・コンピューター機を利用した航空ネットワークの設定

今後はこれらの課題を十分に検討した上で、大災害時における航空利用のあり方をさらに考えていく必要がある。

また、本研究において用いられた手法に関しては、以下の点で改良していく必要がある。

1. 本モデルでは、集計的なアプローチによってのみ、利用者の行動を定義した。しかし、実際には災害時の行動を考える上でも、単一の行動基準を全てに当てはめることに関しては、さらに検討を加える必要がある。

2. 航空路線の利用者数が、全ての路線について既知ではない。このため、欠落した部分に対する精度が検討できない。これは、今後発表されるデータを用いて追加的に計算を行っていく必要がある。また、鉄道による旅客の総数や、乗り換え率などを本研究では取り入れていない。今後、これらを含めて議論していく必要がある。
3. 災害時の OD 交通量そのものが変化していることが考えられるが、本研究では通常時を最大とおき、その Od パターンそのものに変化はないという仮定をおいた。しかし、災害によって、OD パターンにドラスティックな変化が生じることは十分に考えられる。今後は、OD パターンの変化をも含めた形の推計モデルとすることが望まれる。

【参考文献】

- 1) 土木学会：阪神大震災震害調査緊急報告会資料 p p. 43-83, 1995. 2
- 2) 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, 平成7年度関西支部年次学術講演会iv-21, 1995. 5
- 3) 運輸省：運輸白書平成6年版
- 4) 運輸経済研究センター：平成3年度幹線旅客純流動調査
- 5) 運輸省航空局：主要航空路線運行データ
- 6) 運輸省運輸局監修：数字で見る航空
- 7) JTB時刻表, 1995.