

# 北海道新幹線の需要推計におけるリスク分析に関する研究

A Study on Risk-analysis in demand-estimation of Hokkaido-Shinkansen

北海道大学大学院工学研究科  
 北海道大学大学院工学研究科  
 株式会社ドーコン  
 北海道大学大学院工学研究科  
 北海道大学大学院工学研究科

○学生員 本波 和也 (Kazuya MOTONAMI)  
 正員 内田 賢悦 (Kenetsu Uchida)  
 正員 杉木 直 (Nao SUGIKI)  
 フェロー 加賀屋 誠一 (Seiichi KAGAYA)  
 正員 萩原 亨 (Toru HAGIWARA)

## 1. はじめに

### 1.1 本研究の背景

今現在、全国で整備新幹線の整備が進んでいる。北海道新幹線は図1に示すルートが想定されている。2015年度に「新青森・新函館間」が開業予定であり、「新函館・札幌間」に関しては、2020年の開業を目指し、財源を模索中である。建設費は、H15の国土交通省の試算によると、「新青森・函館間」が4670億円、「新函館・札幌間」が1兆800億円となっている。昨今の資源高の影響により、さらに建設費が上がることも予想される。このように鉄道整備には莫大な資金が投入されるため、限られた財源の下で、効率的な投資を行なう必要がある。そのため、より精緻な需要予測を行う必要があると共に、需要変動、すなわち、需要変動リスクも事前に評価する必要がある。新幹線における需要予測に関するリスクファクターとしては、将来人口、経済状況等の不確実性が考えられる。これらのリスクファクターの変動特性を予め把握し、交通需要への影響を定量化することが求められる。

### 1.2 本研究の目的

本研究の目的は、北海道地域における北海道新幹線「新函館・札幌間」が開業した場合の効果を新幹線需要として推計し、さらに、需要変動リスクの計量化も同時に行なう。また、新幹線需要は、航空運賃が現状と変化しないことを前提に推計されるが、実際には、価格競争が起こり、その影響も考慮する必要がある。そこで、価格競争の影響をゲーム理論の考え方を適用し、その定式化も行なう。

## 2. 需要推計方法

### 2.1 モデル構造

本研究では、内田・杉木<sup>1)</sup>によるモデルを基に進めていく。また、モデル構造を図2に示す。本モデルでは、地域間の総交通量に関しては、新幹線開業に伴う交通に関する一般化費用、地域人口および経済・社会指標の変化から、重力モデルによって推計する。鉄道交通量に関しては、上記の総交通量に鉄道の機関選択率を乗じて推計する。鉄道と航空の交通機関選択率に関しては、二項ロジットモデルにより推計する。また、社会経済条件による交通量の伸びの変化を検討するため、以上の推計に対して、GDPを説明変数とした、経済成長モデルを適用している。各交通量の推定フローを図-3に示す。

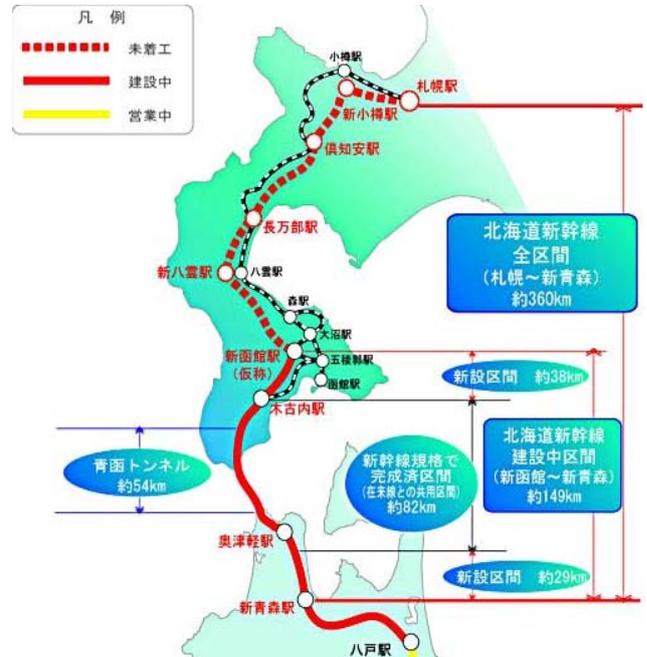


図1 北海道新幹線のルートと概要

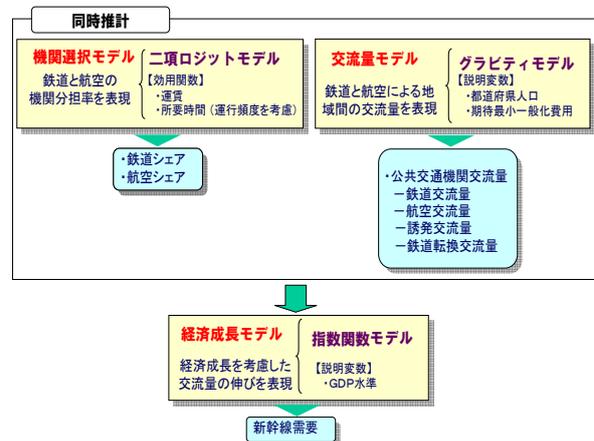


図2 需要推計のフロー

### 2.2 機関選択モデル

ODペア  $od$  間を交通機関  $m$  によって移動する場合の効用関数を式(1)で与える。

$$V_{od}^m = \alpha_1 t_{od}^m + \alpha_2 f_{od}^m + \alpha^m \quad (1)$$

$m \in \{t, p\}$ : 交通機関を示す記号であり、新幹線の場合  $m = t$ 、航空の場合  $m = p$ 。

- $t_{od}^m$ : 交通機関  $m$  を利用して OD ペア  $od$  間の移動を行う場合の所要時間 (分).
- $f_{od}^m$ : 交通機関  $m$  を利用して OD ペア  $od$  間の移動を行う場合の運賃 (円).
- $\alpha^m$ : 交通機関  $m$  に固有な定数.
- $\alpha_1, \alpha_2$ : パラメータ.

上記の効用関数の誤差項に互いに独立なワイブル分布を仮定したランダム効用理論では、交通機関  $t$  および  $p$  を利用して OD ペア  $od$  間の移動を行う確率は、それぞれ式(2)、式(3)で与えられる。

$$P_{od}^t = \frac{\exp(V_{od}^t)}{\exp(V_{od}^t) + \exp(V_{od}^p)} \quad (2)$$

$$P_{od}^p = 1 - P_{od}^t \quad (3)$$

### 2.3 交通流量モデル

地域間の公共交通機関交通流量を表現する交通流量モデルでは、OD ペア間の交通流量に対して式(4)に示す重力モデルを適用して表現する。

$$K_{od} = \beta_0 \frac{(N_{od}^{\max})^{\beta_2} \cdot (N_{od}^{\min})^{\beta_3}}{(g_{od})^{\beta_1}} \quad (4)$$

where

$$g_{od} = \left( \ln \sum_{m \in \{t, p\}} \exp(V_{od}^m) \right) / \alpha_2 \quad (5)$$

$K_{od}$ : OD ペア  $od$  間の公共交通機関交通流量 (百人/年).

$g_{od}$ : 式(2)に示したロジットモデルから計算される OD ペア  $od$  間の期待最小一般化費用 (円).

$N_{od}^{\max}$ : OD ペア  $od$  間の人口のうち大きい方の値(千人).

$N_{od}^{\min}$ : OD ペア  $od$  間の人口のうち小さい方の値(千人).

$\beta_0 \sim \beta_3$ : パラメータ.

式(5)の分子は、交通機関選択モデルで推計される OD ペア  $od$  間の期待最小一般化費用に関する項を示しており、交通機関毎の効用値を合成した値を運賃に関するパラメータ  $\alpha_2$  で除した値となっている。

### 2.4 経済成長モデル

社会経済環境条件による交通量の伸びを表現する経済成長モデルは、既往研究<sup>2)</sup>を参考に、式(6)に示すように全国交通量を被説明変数とし、GDP水準を説明変数とした指数関数モデルで表現する。よって、公共交通機関伸び率は式(7)に示す通りである。

$$K(t) = a \cdot b^{GDP(t)} \quad (6)$$

$$L(t) = \frac{K(t)}{K(\text{現況})} = \frac{a \cdot b^{GDP(t)}}{a \cdot b^{GDP(2007)}} \quad (7)$$

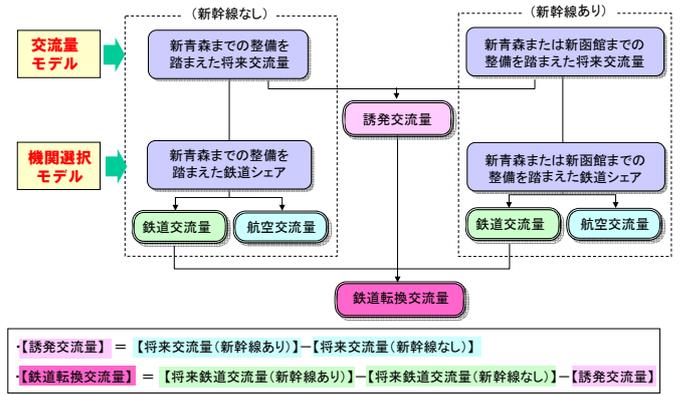


図3 交通量の推計法

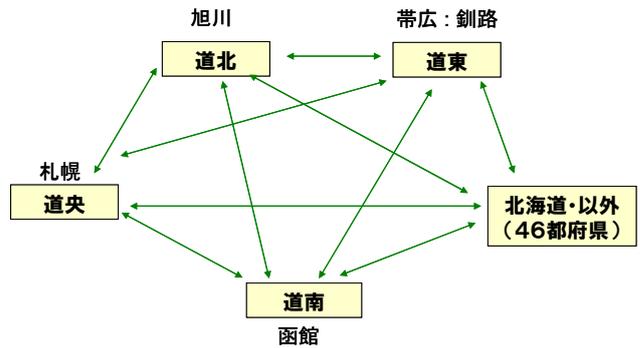


図4 対象地域

### 2.5 モデルパラメータ

2.2, 2.3, 2.4 に示したモデルのパラメータ値の推計結果を表1に示す。

表1 モデルパラメータ推定結果

・機関選択・交通流量推計モデル: N=41

パラメータ名	パラメータ値
$a_0$ : 定数項	1.36
$\alpha_1$ : 所要時間差	$-9.00 \times 10^{-4}$
$\alpha_2$ : 運賃差	$-3.61 \times 10^{-2}$
$\beta_0$ : 定数項	2.34
$\beta_1$ : 一般化費用	2.57
$\beta_2$ : 人口(大)	1.61
$\beta_3$ : 人口(小)	1.46

・経済成長モデル:  $R^2=0.91$  N=30

パラメータ名	パラメータ値	t値
$c$ : 定数項	16.5	726.0
$d$ : GDP	$8.96 \times 10^{-7}$	16.7

$K(t)$ : 年次  $t$  の年間公共交通交通量 (千人).

$GDP(t)$ : 年次  $t$  の国内総生産 (10 億円).

$a, b$ : パラメータ

$L(t)$ : 公共交通機関伸び率

### 3. 将来需要予測条件の設定

#### 3.1 対象地域

本研究では、図4に示すように北海道地域を4ブロッ

ク{『道央』(石狩、後志、空知、胆振、日高)・『道北』(上川、留萌、宗谷)・『道東』(網走、釧路、根室)・『道南』(渡島、檜山)}に分ける。各ブロックとその他46県との交通量を推定していく。また、各ブロックに主要駅を設定し、各ゾーン内の人は主要駅を発着地点と仮定している。

3.2 推計時期

需要推計する時期は、【現況】【H32(2020)】【H42(2030)】の3パターンとする。2020年は、北海道新幹線「新函館・札幌間」が開業されると考えられる中で最も早い年である。

3.3 料金設定

3.3.1 新幹線運賃設定

今現在、東北新幹線は八戸駅までであるため、八戸駅以北に関しては、運賃については現在運行している新幹線を基に設定した。札幌発・函館発の各駅への料金表を表1に示す。

3.3.2 航空運賃設定

航空運賃は時間帯、航空券を取得する日により異なる。そこで、本研究においては、ビジネス割引運賃を設定した。

3.4 運行パターン・将来各駅所要時間

図4に示す駅を停車駅とした。これは、今現在、八戸ー東京間において最も多い運行パターンである。各駅の運行時間は、東日本旅客鉄道で公表している速度設定を基に図5に示すように設定する。加速度時間、停車時間も考慮に入れた。その他、主要駅と新幹線駅が離れている地域はアクセス時間、平均待ち時間等も設定に入れている。

3.5 その他条件

GDPは現状のままとして算出する。将来人口については、国立社会保障・人口問題研究所「日本の市区町村別将来推計人口(平成15年12月推計)」にて公表しているデータを使用した。

4. 推定結果

図6、図7は、それぞれ、鉄道交通量、地域間の交通量を示しており、表3は、新幹線による誘発・転換交通量を示している。ここで、鉄道交通量とは、新幹線以外の在来線も含めた鉄道の交通量を意味しており、新幹線のみを対象とした交通量ではない。鉄道交通量に関しては、札幌まで延伸されない限り大きな効果がないことがわかる。また人口が減少していくため、新幹線の開業が遅れるほど、効果が薄くなるのがわかる。

札幌延伸において、最も大きな問題は、東京との交通量のうち航空に対しどの程度のシェアを獲得できるかである。そこで道央-東京に絞った鉄道交通量を図8、札幌ー首都圏間の鉄道シェアを図9に示す。東京までの移動では、札幌まで新幹線が延伸されなければ、新幹線はほとんど選択されない。札幌まで延伸された場合は、6割

表2 料金設定

	札幌	新函館	新青森	盛岡	仙台	福島	宇都宮	大宮	東京
営業キロ	0	211	360	538	722	801	964	1043	1074
運賃	0	3890	7140	8190	10190	10500	11970	12600	12810
特急料金	0	3,760	4,920	5,240	6,170	6,710	7,230	7,760	7,760
料金	0	7650	12060	13430	16360	17210	19200	20360	20560

	新函館	新青森	盛岡	仙台	福島	宇都宮	大宮	東京
営業キロ	0	149	327	511	590	753	832	863
運賃	0	3890	5250	7980	8720	10190	10820	11030
特急料金	0	3760	4490	5240	5240	6170	6710	6710
料金	0	7650	9740	13220	13960	16360	17530	17740

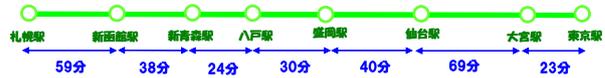


図5 将来新幹線速度

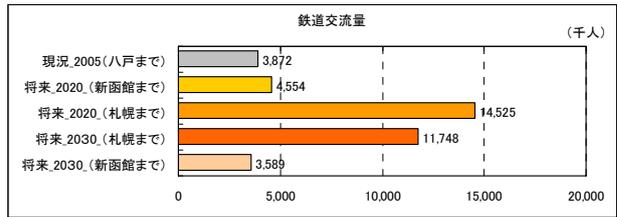


図6 鉄道交通量

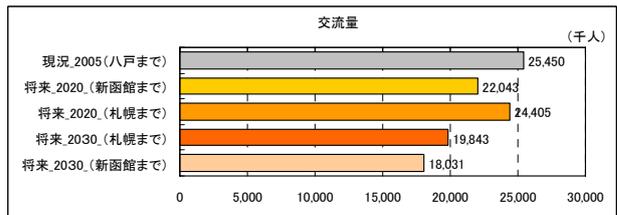


図7 交通量(全体)

表3 誘発転換交通量

	誘発	転換
2020年札幌延伸	1316	4486
2030年札幌延伸	1010	3836

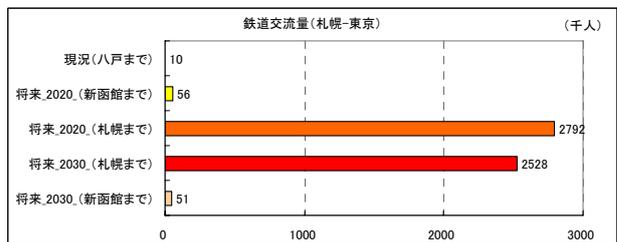


図8 鉄道交通量(札幌-東京)

弱のシェアが取れる結果が得られた。しかし、航空運賃はビジネス割引運賃を設定しているため、実際はより安い航空運賃との競合になる可能性があり、シェアが本研究における結果より小さくなる。運賃の競合は6章にて触れる。

### 5. 需要予測におけるリスク

以下では、札幌－東京間の鉄道交通量のすべてが新幹線を利用すると仮定し、新幹線交通量の需要変動リスクを推計値の分散と捉え、計量化する。本研究では、自然災害を需要変動リスクとは捉えていない。自然災害は、交通機関選択を考える上では、重要な要因ではあるが、将来に渡って、その発生確率が変動するとは考えにくい。したがって、自然災害の影響は、機関選択の選好のみに影響すると捉え、式(1)に示す  $\alpha^m$  に含まれていると考えている。新幹線交通量:  $Q_{od}^t$  の分散:  $Var(Q_{od}^t)$  の求め方を以下に示す。od間の鉄道交通量は、式(8)で与えられる。

$$Q_{od}^t = P_{od}^t \cdot K_{od} \cdot L(t) \quad (8)$$

仮に、リスクファクターを人口、経済状況、鉄道・航空における運賃および移動時間と仮定すると、デルタ法を適用することで、需要変動リスクは、式(9)で推計される (odを省略)。

$$\begin{aligned} Var(Q^t) = & \left(\frac{\partial Q^t}{\partial t^t}\right)^2 \sigma_{t^t}^2 + \left(\frac{\partial Q^t}{\partial f^t}\right)^2 \sigma_{f^t}^2 + \left(\frac{\partial Q^t}{\partial t^p}\right)^2 \sigma_{t^p}^2 \\ & + \left(\frac{\partial Q^t}{\partial f^p}\right)^2 \sigma_{f^p}^2 + \left(\frac{\partial Q^t}{\partial N^{max}}\right)^2 \sigma_{N^{max}}^2 \\ & + \left(\frac{\partial Q^t}{\partial N^{min}}\right)^2 \sigma_{N^{min}}^2 + \left(\frac{\partial Q^t}{\partial GDP(t)}\right)^2 \sigma_{GDP(t)}^2 \end{aligned} \quad (9)$$

ここで、 $\sigma^2$ は、リスクファクターの分散を示している。式(9)に、データを入力することで、鉄道線交通量に関する需要変動リスクを推定できる。また、各項の値から、各リスクファクターのリスクに対する感度を考察することができる。

### 6. 価格変化

札幌-東京間においては、航空・新幹線共に利益を上げるために、価格を変化させると考える。本研究では、分析を簡単にするため、費用は考えず、収入を最大化するように価格競争を行うことを仮定する。この仮定は、厳しいものであるが、利潤(収入-費用)を最大化する問題も容易に定式化することは可能であり、モデルに関する制約ではないことを明記しておく。

航空・新幹線の選択確率は  $P^P, P^t$  であり、それぞれ価格 ( $f^P, f^t$ ) の関数であるから、 $P^P = P^P(f^P, f^t)$ 、 $P^t = 1 - P^P$  と書ける。以上から、新幹線および航空の収入は、それぞれ、式(10)、式(11)で与えられる。

$$E^t(f^P, f^t) = K \cdot P^t \quad (10)$$

$$E^P(f^P, f^t) = K \cdot P^P \quad (11)$$

本研究においては、航空・新幹線における以下の2ケースを考えていく。

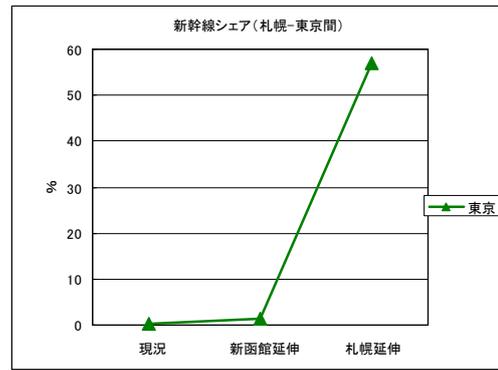


図9 シェア(札幌－東京)



図10 価格競争イメージ図

【Case1】. 〈航空と新幹線が非協力的であり、自分の収入のみを最大化するように制御する場合〉

$$\text{Max } E_i^t \text{ w.r.t. } f^t \text{ s.t. } f^P = f_{i-1}^P$$

$$\text{Max } E_i^P \text{ w.r.t. } f^P \text{ s.t. } f^t = f_i^t$$

ここで、 $i$ は繰り返し数を示す変数であり、初期状態  $i=0$  に対応した運賃を設定後、上記2つの最大化問題を繰り返し解くことによって、価格競争後の価格が推計されることになる。価格競争のイメージ図を図10に示す。

【Case2】. 〈互いに協力し、総収入が最大になるように制御する場合〉

$$\text{Max } E^t + E^P \text{ w.r.t. } f^P, f^t$$

### 7. おわりに

新幹線が札幌に延伸された場合の鉄道交通量、転換交通量、誘発交通量を示すことで、新幹線延伸の具体的な効果を示せた。また、札幌-東京間における獲得シェア等を算出することができた。これらにより、新幹線は札幌まで延伸されなければ、効果は薄いといえる。

需要推計をする際のリスクをもとめるための定式化を行った。これらから各リスクファクターが、需要予測にどのような影響を与えるのかを見極めていく。

価格競争の定式化を行った。より、現実に近いシミュレーションにつなげていきたい。

#### <参考文献>

- 1) 内田賢悦・杉木直：北海道新幹線新函館駅開業による交流需要予測に関する研究、土木計画学研究講演集、No. 36, 2007。
- 2) 土木学会：非集計行動モデルの理論と実際、丸善。