

東京大学公共政策大学院
「公共政策の経済評価」2022 年度

北海道新幹線延伸に関する 費用便益分析

東京大学公共政策大学院
経済政策コース 修士2年 山崎雄公
経済政策コース 修士1年 尾澤颯
経済政策コース 修士1年 佐々木智教
経済政策コース 修士1年 仲吉大輔

目次

総括表	2
概要 (Executive Summary)	3
1. 序文	4
1.1. 分析目的	4
1.2. 計画概要	5
1.2.1. 北海道新幹線について	5
1.2.2. 北海道新幹線の延伸計画概要	5
1.2.3. 延伸後の所要時間の変化	6
1.2.4. 延伸後の運賃の変化	7
1.3. 過去の試算結果	8
1.3.1 国土交通省鉄道局(2012)による新青森・新函館（仮称）間の事業再評価	8
1.3.2. JR TT(2018)による評価	10
2. 分析の枠組み	14
2.1. 費用便益分析とは	14
2.2. 評価対象（当事者適格）	14
2.2.1. 利用者への効果・影響	14
2.2.2. 供給者への影響・効果	15
2.2.3. 社会全体への効果・影響	15
2.3. 評価項目	15
2.3.1. 便益	15
2.3.2. 費用	17
2.4. 感度分析	20
3. 分析の方法	20
3.1. 交通手段の意思決定モデル	20
3.1.1. ロジット・モデル	20
3.1.2. ロジット関数	21
3.1.3. モデルの特定化	22
3.2. 使用するデータ	22
3.2.1. 被説明変数の取得	22
3.2.2. 説明変数の取得	23
3.3. モンテカルロ法による感度分析	25
4. 分析結果	26
4.1. 費用便益分析の結果	26
4.2. 感度分析の結果	28
5. 考察	31
5.1. 既存評価との比較	31
5.1.1. 事業評価結果の比較表	31
5.1.2. 結果に基づく考察	32
5.2. 本稿における分析の妥当性評価	33
6. 結論	34
謝辞	36
参考文献	37
付録	38
49 区域対照表	38
スクレイピングの実装	38
モンテカルロ法の R による実装	41

総括表

○事業内容				
概要	事業内容	北海道新幹線 新函館北斗-札幌間 延伸事業	整備区間	新函館北斗-札幌間 212km
	供用年	2030 年(建設期間 2012-2030 年)	総事業費	1.6 兆円
○推計結果				
時間評価値	8769 円/時			
効用関数	$\text{効用} U = \beta_0 - 0.0109(\text{時間}) - 0.0000749(\text{費用}) + 1.41(\text{鉄道ダミー}) + \varepsilon$ $\varepsilon \text{はガンベル分布に従う誤差項}$			
○開業以降の便益				
	年間（運用時）	現在価値（2079 年まで）		
利用者便益	601 億円	9819 億円		
供給者便益	267 億円	4355 億円		
環境便益	3.5 億円	55 億円		
小計	872 億円	1 兆 4230 億円		
○事業の投資効果（2023 年基準の現在価値）				
事業全体の費用便益分析	総便益	1 兆 4230 億円		
	建設費(2012 年以降)	1 兆 7323 億円		
	社会的純便益(2012 年以降)	マイナス 3093 億円		
残事業の費用便益分析	総便益	1 兆 4230 億円		
	建設費(2023 年以降)	5335 億円		
	社会的純便益(2023 年以降)	プラス 8895 億円		
○感度分析				
	事業全体	残事業		
社会的純便益が正になる確率	16.2%	100%		

概要 (Executive Summary)

全国新幹線鉄道整備法に基づく 1973 年の整備計画によって、全国で 5 つの路線が整備新幹線として開業が決定された。整備新幹線とは地域間の移動時間を大幅に短縮し、我が国のビジネス・観光の交流を促進することで、地域の産業や社会に大きな効果をもたらすことを目的としている。

整備新幹線の一つである北海道新幹線は、青森県青森市から北海道旭川市を結ぶ鉄道である。2005 年に着工した新青森―新函館北斗間の約 149km 鉄道建設事業は完了し、2016 年に新幹線運行が開始されている。一方、2012 年に着工された新函館北斗―札幌間約 212km は現在建設中であり、2030 年の開業が予定されている。

このような北海道新幹線延伸事業に関して、過去に費用便益分析を用いた政策評価をしている研究が存在するが、統一的な見解が得られていない。江口ら(2011)では新函館北斗―札幌間の延伸による社会的純便益を-3400 億円と推計している一方で、鉄道建設・運輸施設整備支援機構(2018)では同便益を 1300 億円と算定している。相反する二つの結果の妥当性を比較するにあたっては両稿における不確実性の扱いに関して検討する必要がある。しかし、いずれの研究においても需要予測における不確実性は扱っていない。需要予測に関する感度分析を行うことで、推計された便益において頑健性が生まれるだろう。

以上のような状況を踏まえ、本稿ではモンテカルロ感度分析を実施することによって、新青森―新函館間の延伸事業が生む便益を統計学的観点から捉え、政策実施の是非について検討を行うことを目的とした。

便益に関しては、交通機関ロジット・モデルによって政策実施による鉄道需要の変化を計測することで、利用者・供給者・環境に対する便益を求めた。また建設費は、国土交通省の有識者会議にて報告された「北海道新幹線（新函館北斗・札幌間）の整備に関する報告書（令和 4 年報告）」の値を参照した。そして、維持管理費用については国土交通省が発表した「JR 旅客会社の基準単価・基準コスト等について」を参考に算定した。感度分析では、回帰係数の推定誤差を考慮して利用者便益を 1000 パターン計算するモンテカルロ感度分析を行った。

感度分析の結果、社会的純便益は、おおよそ-7029 億円から+4453 億円程度のばらつきが見込まれ、社会的純便益が正になる割合は 16.2%であった。なお、2023 年以前の建設費を考慮せずに計算すると、社会的純便益はおおよそ+4959 億円から+1.6441 兆円程度の間でばらつく。中央値は 9161 億円であり、故に現在価値にして 9161 億円までの建設費増額であれば、社会的純便益が正になる確率が 50%以上である。

以上の結果から、社会的余剰の観点から言えば当事業は実施すべきでなかったと結論づけられる。しかし、現在までの着工費用を埋没費用と換算する場合には、当事業は継続すべきとの結論が得られる。なお、国土交通省による残事業の投資効率性の観点から言えば、既に投資された建設費用は埋没費用と見なすことが出来る。

1. 序文

1.1. 分析目的

地域間移動時間の短縮・ビジネスや観光の交流促進を目的として、北海道新幹線は新函館-札幌間の延伸を行っている。本稿の執筆に至った背景としては、過去の北海道新幹線延伸に関する費用便益分析において、複数の報告書で異なった結果が導出されており、結果を改めて確認したいと考えたことによる。

江口ら(2011)は、当事業の事前評価を行い、延伸事業を実施すべきかの妥当性を判断している。費用便益分析の結果、新函館-札幌間の延伸事業では約 3,400 億円の損失が生じると結論づけている。内訳としては、鉄道延伸によって約 5,600 億円の便益を生む一方で、建設費用約 9,000 億円が生じるとしている。¹

一方、鉄道建設・運輸施設整備支援機構(2018)では、反対の結論が導かれている。新函館-札幌間の延伸事業によって総便益が約 1 兆 4,000 億円に対して総費用は約 12,700 億円となり、総計約 1,300 億円の純便益を生むと試算している。²

両分析において結果が一致しない主たる要因は、利用しているデータや置いている前提に違いがあることである。例えば、前者では需要予測については 93 路線データを使用しているのに対し、後者では地域旅客流動調査の統計データを使用して推計を行っている。当事業の開始は将来であるため、事業の実施によってどのような変化が生じるか議論する際には不確実性が伴う。すなわち、推計結果が期待値であるが故に、前提や対象とするデータを変えてしまうと先行研究のように値にばらつきが生じる。前提自体の議論は難しいが故に、費用便益分析の妥当性を確認するためには、推計した便益についてどの程度不確実性を排除しているかを検証することが重要である。そして、分析結果の確らしさを確認することで、事業実施の妥当性について議論を深めることが期待できる。

分析における不確実性の扱いの重要性は上で触れた通りであるが、この点、両分析ではその扱いが十分でない可能性がある。江口ら(2011)では時間短縮と鉄道運賃を変化させる部分的感度分析、鉄道建設・運輸施設整備支援機構(2018)では需要と費用に関して極値ケース感度分析を行っているが、こうした分析によって最善・最悪のケースにおける純便益は求まるものの、その事象が起こる蓋然性については論じきれない。

そこで、本稿では新函館-札幌間の延伸事業について不確実性を考慮した上で分析することでの政策評価を目的とする。具体的には、最も不確実性が高い需要予測についてモンテカルロ感度分析を行うことで、先行研究には無い視点から、政策実施の是非を検討したい。

¹ 現在価値の基準年度を 2010 年度として試算。

² 現在価値の基準年度を 2018 年度として試算。

1.2. 計画概要

1.2.1. 北海道新幹線について

本事業は、全国新幹線鉄道整備法に基づいた 1973 年の整備計画に則り、新青森・札幌間の整備が行われているものである。このうち、新青森・新函館北斗間については、2016 年に既に開業している。現在は、新函館北斗・札幌間が 2030 年度末の開業に向けて工事が行われている。

1973 年の整備計画によって決められた整備新幹線は 5 つである（表 1）。整備新幹線とは、その主たる区間を列車が時速 200km 以上の高速で走行できる幹線鉄道のことを指し、北海道新幹線は整備計画の 1 つに含まれる。

表 1 整備計画

北海道新幹線	青森-札幌間
東北新幹線	盛岡-青森間
北陸新幹線	東京-大阪間
九州新幹線（鹿児島ルート）	福岡-鹿児島間
九州新幹線（長崎ルート）	福岡-長崎間

出典：国土交通省ウェブページ

https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_fr1_000041.html（2023 年 2 月 25 日閲覧）

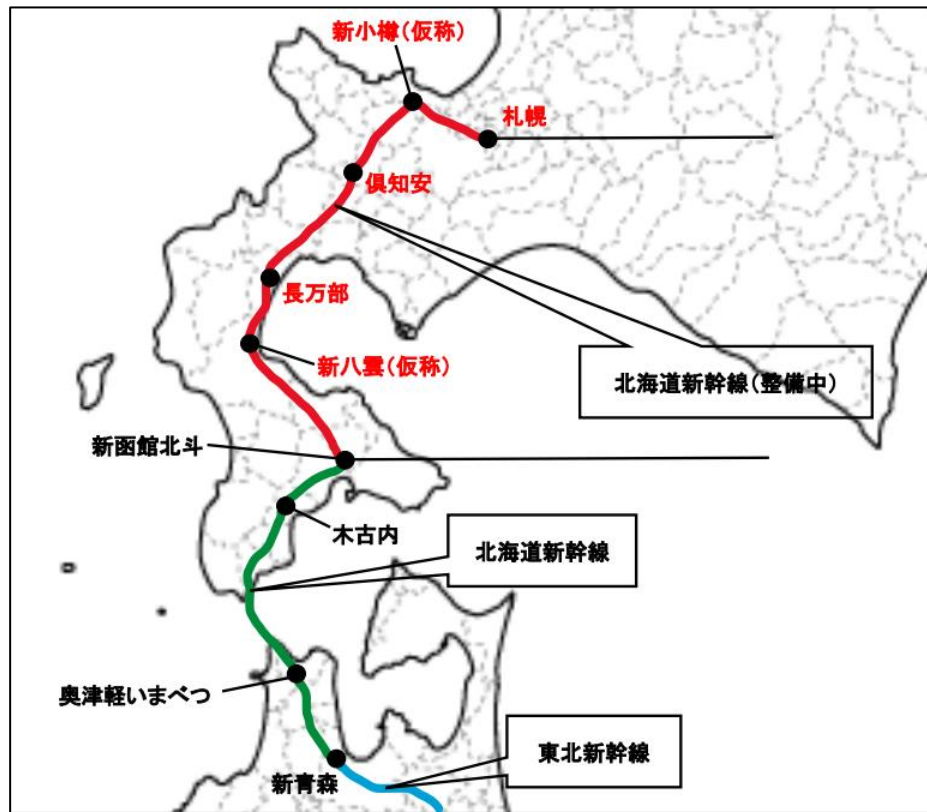
国土交通省は整備新幹線の開業効果として、「整備新幹線は、地域間の移動時間を大幅に短縮し、我が国のビジネス・観光の交流を促進することで、地域の産業や社会に大きな効果をもたらします」と言及している。本事業においても、高速鉄道ネットワークの整備により、北海道内外の速達性向上が主たる目的であり、それによる北海道の地域産業や社会への波及効果も期待されている。

1.2.2. 北海道新幹線の延伸計画概要

延伸計画では、新函館北斗・札幌間の約 212km が新たに整備される。現状の北海道新幹線終着駅である新函館北斗駅から新八雲駅（仮称）、長万部駅、倶知安駅、新小樽駅（仮称）を経由して札幌駅への運転を行う（図 1）。

北海道新幹線延伸前である 2023 年 1 月現在、鉄道による函館・札幌間の幹線ルートは長万部駅から室蘭駅や苫小牧駅、南千歳駅を経由するルートである。これに対し、北海道新幹線では長万部駅から倶知安駅、新小樽駅（仮称）を経由する現在の函館本線が通る路線に近いルートが選ばれている。札幌延伸により、新函館北斗・札幌間が 65 分で結ばれると試算されている。

図 1 北海道新幹線概要図



出典：北海道旅客鉄道ウェブページを元に、筆者が加工・作成。

https://www.jrhokkaido.co.jp/corporate/company/pdf/2022_21_22.pdf（2023 年 2 月 25 日閲覧）

1.2.3. 延伸後の所要時間の変化

本項では、北海道新幹線が新函館北斗から札幌まで延伸した時の新函館北斗－札幌間の所要時間の変化（速達効果）について言及する。

まず、本稿では、速達効果について、新函館北斗－札幌間のみを求めることとし、途中駅のそれは扱わないこととする。これは我々の取得したデータの制約、すなわち北海道内 4 地点を出発地又は到着地の地点としたことによる。なお、当該 4 地点は、旭川駅、釧路駅、札幌駅、函館駅である。

表 2 は札幌延伸後の所要時間の変化を示している。2022 年現在の平均特急乗車時間について、新函館北斗－札幌間は 210 分である。一方、国土交通省(2012)の試算によると、札幌延伸後の新函館北斗－札幌間の平均乗車時間は 65 分とされている³。以上の情報を援用し、所要時間の変化（速達効果）は 145 分とする。

³ 国土交通省鉄道局（2012 年 3 月）「収支採算性及び投資効果に関する詳細資料」

<https://www.mlit.go.jp/common/000205176.pdf>（最終閲覧日；2023 年 1 月 27 日）

表 2 札幌延伸後の所要時間の変化

駅間	without	with	差分
新函館北斗－札幌	210 分	65 分	-145 分

1.2.4. 延伸後の運賃の変化

本項では、北海道新幹線が新函館北斗から札幌まで延伸した時の運賃の変化を求め、表 3 に示す。運賃の変化を求める区間は、前項と同様の理由により、新函館北斗－札幌間のみとする。

札幌延伸後（with）の特急料金は、JR 北海道の営業キロと現行の新青森－新函館北斗の特急料金を元に算出する。なお、新幹線や特急の料金は、乗車料金と特急料金から成るが、本稿の分析では乗車料金は変化しないと仮定し、特急料金の変化のみを運賃の変化予測に反映する。すなわち、

$$\begin{aligned}
 & \left(\text{with の特急料金} \right) \\
 &= \left(\text{現行の新青森－新函館北斗の特急料金} \right) \\
 &\quad \times \frac{\left(\text{延伸後の新函館北斗－札幌間の営業キロ} \right)}{\left(\text{現行の新青森－新函館北斗間の営業キロ} \right)} \\
 &= \left(4000 \text{ 円} \right) \times \frac{\left(\text{延伸後の新函館北斗－札幌間の営業キロ} \right)}{(149\text{km})}
 \end{aligned}$$

である。延伸後の新函館北斗－札幌間の営業キロは約 212km と試算されており、with の特急料金は約 5700 円となる。現行の特急料金は 2640 円であるから、札幌延伸により、運賃（特急料金）は 3060 円増加する予測できる。

表 3 札幌延伸後の運賃（特急料金）の変化

駅間	without の特急料金	with の特急料金	差分
新函館北斗－札幌	2640 円	5700 円	+3060 円

1.3. 過去の試算結果

1.3.1 国土交通省鉄道局(2012)による新青森・新函館（仮称）間の事業再評価

本節では、平成24年4月6日に国土交通省鉄道局より発表された「収支採算性及び投資効果に関する詳細資料」⁴別紙の内容について整理する。

1.3.1.1. 国土交通省鉄道局(2012)のモデル

ネスティッドロジットモデルに基づいた、消費者余剰法による分析を行っている。

1.3.1.1.1. 便益

便益の推定については、次の表4のとおり設定されている。

表 4 便益項目

項目	内容
利用者便益	各OD間について、利用交通機関及び経路の所要時間あるいは運賃・料金等を用いて、需要推計モデル（ロジットモデル）から導出されるログサム変数に代入して一般化費用を算定し、一般化費用の変化と需要量との積により計算（消費者余剰法）
供給者便益	各OD間の需要推計の結果と運賃・料金から、全国の鉄道事業者の営業収益増加分を算出し、全国の鉄道事業者の営業費増加分を差し引いて計算
環境等改善便益	各OD間の需要推計の結果から、局所的環境便益（NOx）、地球的環境改善便益（CO2）及び道路交通事故減少便益を計算
残存価値	建設費、用地関係費、維持改良費・再投資に対応する資産を対象として計算期末に便益として計上

1.3.1.1.2. 費用

費用の推定については、次の表5のとおり設定されている。

表 5 費用項目

項目	内容
建設費	建設費、用地関係費
車両費	整備区間および関連線区で導入・廃止する車両費と車両数の積を計算
維持改良費	科目別建設費の和より計算（スクラップ価値10%を控除）

⁴ <https://www.mlit.go.jp/common/000205176.pdf>

1.3.1.1.3. その他のパラメータ

その他の変数については、次の表 6 のとおり設定されている。

表 6 パラメータ項目

項目	内容
消費税	消費税は除外して計算。ただし、利用者便益計測の際の旅客の運賃・料金に係る消費税は考慮する。
社会的割引率	「鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル2005」に基づき4%とする。

1.3.1.2. 国土交通省鉄道局(2012)のデータ

Without の需要データの出所について、参照しているマニュアルに鑑みれば、地域旅客流動調査の統計データを使用している可能性が高いが、417 ゾーン分割後のデータについても詳述されていなかった。

運賃や所要時間、乗換などのコストについての記載も見つけることができなかった。事業者等や整備記録より路線情報を入手していると予想される。

1.3.1.3. 国土交通省鉄道局(2012)の推定結果

1.3.1.3.1. 交通手段選択モデルの推定結果

交通手段選択モデルの推定結果については同報告書内では割愛されており、個別の効用パラメータの推定結果は不明である。

1.3.1.3.2. 需要推定

当該評価における需要推定の結果は次の表 7 のとおりである。

表 7 推定された需要

		2005年	2036年	
		(現況)	without	with
生成交通量 (百万人/年)		1,618.8	1,470.3	1,470.3
伸び率	対2005年	-	0.9083	0.9083
	対without	-	-	1.0000

1.3.1.3.3. 費用便益分析

当該評価における費用便益分析の結果は次の表 8 のとおりである。

表 8 平成 23 年度基準評価結果

総便益（B）	8,139億円
利用者便益……………	4,349億円
供給者便益……………	3,470億円
環境便益……………	68億円
残存価値……………	253億円
総費用（C）	7,283億円
建設投資額……………	6,762億円
維持改良費・再投資費…	520億円
投資効果（B/C）	1.1

1.3.2. JRTT(2018)による評価

本節では、独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構（2018）による新函館（仮称）・札幌間の事業評価⁵内容について整理する。分析の詳細は同試算の付属資料に記載されており、本項は主にこれを参照する。

1.3.2.1. JRTT(2018)のモデル

国土交通省鉄道局(2012)と概ね枠組みを一にしている、選択確率推計には、居住地に旅行先選択モデル、交通機関選択モデル、鉄道・航空経路選択モデル、鉄道駅アクセス・空港アクセス選択モデルを組み合わせたネスティッド型非集計ロジット・モデルを用いている（モデル構造の詳細は当該資料 p2-12, 図 2-6）。需要推計には所要時間や運賃などの交通サービス水準、経済成長率、人口の（予測）値を用いている。全国を 419 ゾーンに細分化して設定、「将来交通需要推計の改善について」【中間とりまとめ】（国土交通省平成 22 年 8 月 19 日）を踏まえて構築した需要推計モデルを用いている（モデル構造の詳細は当該資料 p2-11, 図 2-5）。また、経済波及効果の推計には空間的応用一般均衡モデルを用いている。

1.3.2.2. JRTT(2018)のデータ

当該評価のための推定に用いられたデータのソースは次の表 9 のとおりである。

⁵ <https://www.jrtt.go.jp/construction/committee/evaluation29.html>

表 9 JRTT(2018)の分析に用いられたデータソース

項目		内容
経済成長率		2011年までは実績、2013 年までは最新の政府予測である「平成 25年度の経済見通しと経済財政運営の基本的態度」（平成25年2月28日閣議決定）を適用 2014年以降は直近 10年間（実績値）の年平均変化額を加算して設定 2030年以降は一定 GRPについてはGDPと同様の考え方を適用して推計
将来人口		将来の人口については、国立社会保障・人口問題研究所「日本の地域別将来推計人口」（平成25年 3月）の中位推計値を適用
各交通機関の整備状況	航空路線	2016年 4月の実績
	鉄道	2016年 4月の実績
	高速バス、フェリー	2014年 4月の実績
	高速道路	2014年 4月の実績及び第 4回国土開発自動車道建設会議（平成21年4月）を考慮
各交通機関の運賃水準	航空	2016年 4月の運賃水準（平成22年度航空旅客動態調査を考慮した実勢運賃）
	鉄道	2016年 4月の運賃水準
	高速バス、フェリー	2014年 4月の運賃水準
	高速道路	2014年 4月の運賃水準
所要時間 運行本数	北海道新幹線	2016年 4月時刻表 緩行型・速達型の 2通りに分類して設定 所要時間は平均的所要時間を設定
	既設新幹線	2016年 4月時刻表 緩行型・準速達型・速達型の3通りに分類して設定 所要時間は平均的所要時間を設定
	関連する	With 廃止（並行在来線）
	優等列車	Without 2016年 4月時刻表 所要時間は代表的列車の所要時間を設定
	その他優等列車	2016年 4月時刻表 所要時間は代表的列車の所要時間を設定
	航空	2016年 4月時刻表 所要時間は平均的所要時間を設定
	高速バス、フェリー	2014年 4月時刻表 所要時間は平均的所要時間を設定
	自動車	平成22年度道路交通センサスに基づき設定

1.3.2.3. JRTT(2018)の評価項目

当該評価に用いられている評価項目は次の表 10 のとおりである。

表 10 評価項目

項目	内容
利用者便益	各OD間について、利用交通機関及び経路の所要時間あるいは運賃・料金等を用いて、需要推計モデル（ロジットモデル）から導出されるログサム変数に代入して一般化費用を算定し、一般化費用の変化と需要量との積により計算（消費者余剰法）
供給者便益	各OD間の需要推計の結果と、運賃・料金から、全国の鉄道事業者の営業収益増加分を算出し、全国の鉄道事業者の営業費増加分を差し引いて計算
環境等改善便益	各OD間の需要推計の結果から、局所的環境便益（NO _x ）、地球的環境改善便益（CO ₂ ）及び道路交通事故減少便益を計算
建設投資額	建設費、用地関係費
その他費用	維持改良費・再投資（車両費含む）
残存価値	建設費、用地関係費、維持改良費・再投資に対応する資産を対象として計算 期末に便益として計上
消費税	消費税は除外して計算 ただし、利用者便益計測の際の旅客の運賃・料金に係る消費税は考慮する。
社会的割引率	「鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル2012年 改訂版」に基づき 4 %

1.3.2.4. JRTT(2018)の推計結果

1.3.2.4.1. 交通手段選択モデルの推定結果

表 11 公共交通機関選択モデルの推定結果

	業務目的		観光目的		私用目的	
	選択肢	パラメータ	選択肢	パラメータ	選択肢	パラメータ
総所要時間(分)	b,s	-1.56×10^{-2} -13.9	b,s	-1.35×10^{-2} -8.3	b,s	-1.36×10^{-2} -14.7
総費用(円)	b,s	-1.98×10^{-4} -2.8	b,s	-1.84×10^{-4} 2	b,s	-2.17×10^{-4} -4.7
航空アクセシビリティ指標	a	9.27×10^{-1} 21.1	a	9.54×10^{-1} 13.0	a	9.71×10^{-1} 17.8
鉄道アクセシビリティ指標	r	7.87×10^{-1} 28.1	r	7.58×10^{-1} 16.8	r	8.86×10^{-1} 27.4
航空ダミー	a	-2.73×10^{-0} -11.7	a	-2.40×10^{-0} -6.4	a	-3.94×10^{-0} -13.0
新幹線利用ダミー	r	7.88×10^{-0} 11.0	r	4.58×10^{-0} 4.2	r	1.92×10^{-0} 2.7
尤度比		0.83	0	0.60		0.34
的中率		88.8	0	88.2		90.1
時間評価値（円/時）		4,714	0	4,393		3,739
サンプル数		11,439	0	6,548		8,690

上段はパラメータ値、下段はt値を示す。

選択肢欄のアルファベットは次のとおり対応。a：航空、r：鉄道、b：幹線バス、s：旅客船・フェリー

公共交通機関の選択については、上の表 11 のように推定されている。時間価値（時間評

価額)は交通需要の目的にもよるが、概ね4,000円前後と推定されている。

1.3.2.4.2. 需要推定

当該評価における需要推定の結果は詳細には公表されていない。

1.3.2.4.3. 費用便益分析

当該評価における費用便益分析の結果は次の表12のとおりである。

表12 平成23年度基準評価結果(事業全体について)

総便益 (B)	13,997 億円
利用者便益……………	5,926 億円
時間短縮便益……………	4,576 億円
費用節減便益……………	162 億円
利便性向上便益(乗換) ……	143 億円
利便性向上便益(頻度) ……	1,044 億円
供給者便益……………	7,484 億円
環境便益……………	133 億円
残存価値……………	454 億円
総費用 (C)	12,687 億円
建設投資額……………	11,267 億円
建設費……………	10,380 億円
用地関係費……………	886 億円
維持改良費・再投資、車両費……………	1,420 億円
投資効果 (B/C)	1.1

1.3.2.4.4. 波及効果

波及効果については、新函館北斗・札幌間開業による生産額の変化を計測、全国合計で年間約637億円と推定されている。

2. 分析の枠組み

2.1. 費用便益分析とは

費用便益分析とは、政策実施の是非を判断する際に使われる代表的な分析手法のひとつであり、本稿ではこの手法に則った分析を行う。費用便益分析に際しては、ある政策を行うことによる社会全体への影響を貨幣価値に換算することで、価値判断を可能にする。具体的には、以下のようにして社会的純便益(NSB)を導出する。

$$\text{社会的純便益(NSB)} = \text{社会的便益(B)} - \text{社会的費用(C)}$$

政策が社会にもたらす正味の価値は NSB として計測される。NSB は政策がもたらす正の貨幣価値である社会的便益(B)から、政策の実施に伴う社会的費用(C)との差分である。本稿では、「政策実施をした場合(with)としなかった場合(without)の変化」を比較することによって、社会的便益 (B) 及び社会的費用 (C) を求める。この差である NSB が正であることは、政策の実施によって社会が利益を享受することを意味し、その推進を支持する根拠となる。一方で、NSB が負であることは、政策の実施によって社会的な厚生が減少することを意味するため、実施を行うべきでないと判断する一助となる。

費用便益分析は、これを実施する場面によって性質が異なる。政策の実施前に行う費用便益分析は、意思決定者が実際に政策を行うべきかを判断する材料になる。一方で、政策の実施後に行う費用便益分析は、その政策が妥当であったかを判断するための判断材料となる。他方、政策の実施中に行う費用便益分析は、継続して政策に資源を配分し続けることの妥当性を判断する材料となる。

本稿における北海道新幹線延伸に関する費用便益分析は、中間評価である。したがって、新規事業採択時にさかのぼって埋没費用を考慮して行う「事業全体の投資効率性」評価と、埋没費用を考慮せず現時点から残りの事業を評価する「残事業全体の投資効率性」評価を行う。

2.2. 評価対象（当事者適格）

一般に、当事者適格の範囲は国レベルとし、評価対象は以下のとおり設定している。

2.2.1. 利用者への効果・影響

受益消費者として、鉄道でアクセスできない沖縄県を除く 46 都道府県の旅客を対象とする。各都道府県の中心地と北海道を 4 地域に分けた代表 49 地域でもって評価対象の消費者の全体とし、その移動需要と推定された効用パラメータから便益を計測する。消費者の便益推定には、在来線特急の廃止に伴う運賃の上昇と所要時間の短縮を考慮する

2.2.2. 供給者への影響・効果

供給者としては、JR 北海道のみを対象とする。セカンダリーマーケットである航空業界に関しては考慮しない。バスやレンタカーについても同様に考慮しない。

2.2.3. 社会全体への効果・影響

外部的な要素としては、環境便益を考慮する。自然環境自体は当事者とはしないが、移動需要の航空機から新幹線への移行に伴う二酸化炭素および大気汚染物質（窒素化合物）の削減が直接的に国民の well-being に資すると考え、その便益を環境便益として計上する。単純化のため、洗濯の変化に伴う排出削減量に貨幣原単位をかけるにとどめる（影響範囲については考えない）。その他、新幹線開業にともなう経済波及効果等については、本稿では便益の二重計算になるとの立場を取り、これを評価しないこととする。

2.3. 評価項目

2.3.1. 便益

2.3.1.1. 利用者便益

事業実施に伴う一般化費用の変化分と交通量の変化分を用いて利用者便益を計測する。

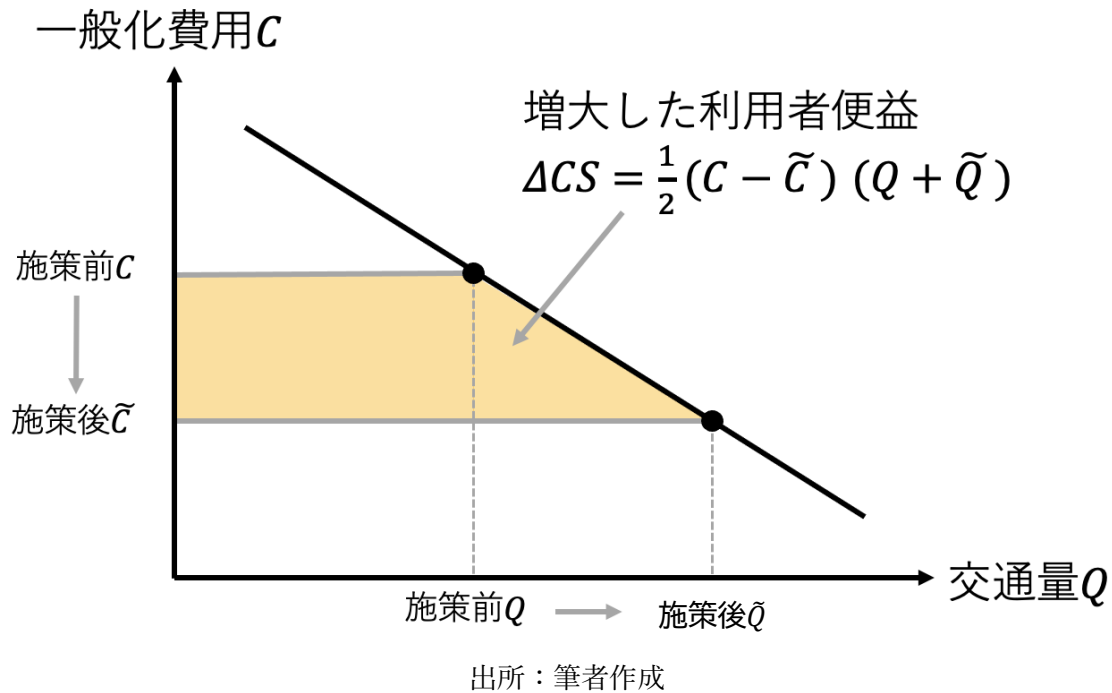
利用者は交通機関を選ぶ際に、運賃だけではなく新たに失う時間や効用などの様々な実質的なコストを払う。これらを総じて一般化費用といい、利用者の費用として計上する。交通機関ロジット・モデルにおいて利用者が直面する一般化費用は、

$$\text{一般化費用 } C = \frac{1}{\beta_1} \ln \left(\sum_{j=1}^N e^{V_j} \right)$$

である。ただし、 β_1 は移動時間に関わる回帰係数であり、 V_j は交通機関 j の確定効用であり、後述するモデルによって導かれる。

需要曲線については、一般化費用によって交通量が変化する線形の需要曲線を仮定する。この仮定により、施策により一般化費用が下落した場合、施策によって増大したある年度ある地域間の利用者便益は、台形の面積で表される（図 2）。すなわち、 $\Delta CS = \frac{1}{2}(C - \tilde{C})(Q + \tilde{Q})$ である。

図 2 利用者便益の求め方



2.3.1.2. 供給者便益

2.3.1.2.1. 基本モデル

供給者は、価格 P と需要量 Q の積から、費用 C を差し引いた供給者便益 SB を得ると考える。供給者とは鉄道事業者であり、without では在来線事業者、with では JR 北海道の新幹線セクターであるとする。また、供給者便益における P は、特に断りの無い限り、価格を指すものである。

$$SB = PQ - C$$

2.3.1.2.2. 価格 P

施策前（without）の価格については、2022 年度現在の価格を使用した。施策後（with）の価格については、第 1 章で議論した価格を使用した。

2.3.1.2.3. 需要量 Q

施策前（without）の需要量については、2015 年度の需要量を使用した。施策後（with）の価格については、次のモデルで考えた。なお、 $\widetilde{P}_{\text{鉄道}}$ は、価格ではなく施策後の鉄道選択確率であり、ロジット・モデルから得られる。

$$Q_{\text{鉄道}} = \widetilde{P}_{\text{鉄道}}(Q_{\text{鉄道}} + Q_{\text{空路}})$$

2.3.1.3. 外部便益

2.3.1.3.1. CO2 削減

二酸化炭素（CO₂）の排出量削減は、地球温暖化防止効果を持つが、市場取引されない正の外部性である。この外部性も費用便益分析に参入する。この外部性は次のモデルで計算する。

$$EX_{\text{交通手段}_j} = \left(\text{需要量}_j \right) \times \left(\text{移動距離}_j \right) \times \left(\text{排出原単位}_j \right) \times \left(\frac{\text{貨幣換算原単位}}{1000} \right)$$

交通手段 j について、需要量は交通手段の利用人数（人）、移動距離は交通手段の移動距離（km）、排出原単位は交通手段で1キロ1人が移動すると排出されるCO₂の重量（g/km・人）、貨幣原単位は1トン当たりのCO₂貨幣価値（円/t）である。

2.3.2. 費用

2.3.2.1. 費用（基本方針）

国土交通省「鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル（2012年改訂版）」によると、費用便益分析において費用として計上される費目は大きく、建設投資額（初期投資）と開業後の維持改良費・再投資の2つに分かれる。本分析では、建設投資額（初期投資）を建設費、開業後の維持改良費・再投資を維持管理費として議論を進める。

2.3.2.2. 費用（建設費）

建設費は、国土交通省の有識者会議にて報告された「北海道新幹線（新函館北斗・札幌間）の整備に関する報告書（令和4年報告）」の値を参照した。同報告書では、総事業費を着工当時において約1兆6,700億円としている。本分析においては、事業全体の建設費は、2023年時点での現在価値を考慮し、1兆7323億円とした。また、2023年以降の建設費は現在価値を考慮し、5335億円とした。

2.3.2.3. 費用（維持管理費）

施策前（without）の費用については、2022年までにかかっている延伸までの費用を含める場合と含めない場合を考えた。施策後（with）の維持管理費用については、次のモデルで考える。維持管理費用は、線路費、電路費、車両費、列車運転費、駅務費から構成される。

$$C = C_{\text{線路費}} + C_{\text{電路費}} + C_{\text{車両費}} + C_{\text{列車運転費}} + C_{\text{駅務費}}$$

各費用項目の導出に必要な基準単価は、国土交通省が公表しているJR旅客会社の基準単

価の北海道地方の項目を利用した⁶。いずれの項目も 1 年間の維持管理に係る費用である。

2.3.2.3.1. 線路費

線路費は、線路や路盤の維持補修、作業管理に要する経費を意味する。本稿では、北海道新幹線の新函館北斗・札幌間の線路費を求め、with の費用に加算する。なお、在来線は貨物目的で存在し、with と without では変化しないと仮定した。

線路費は次のモデルにもとづいて予測する。線路延長距離は 212km である。

$$C_{\text{線路費}} = (\text{線路延長 1 キロ当たり } C_{\text{線路費}}) \times (\text{線路延長距離})$$

$$\text{線路延長 1 キロ当たり } C_{\text{線路費}} = \beta_0 \text{ 線路費} + \beta_1 \text{ 線路費} (\text{車両密度}) + \beta_2 \text{ 線路費} (\text{雪量})$$

上のモデルによって、 $C_{\text{線路費}} = 12.8$ 億円が得られる。

2.3.2.3.2. 電路費

電路費とは、電車線や信号設備等の維持補修、作業管理に要する経費である。本稿では、北海道新幹線の新函館北斗・札幌間の電路費を求め、with の費用に加算する。なお、在来線は貨物目的で存在し、with と without では変化しないと仮定した。現電車線延長と現線路延長は、国土交通省が公表している JR 旅客会社の施設量の北海道の項目を利用した。

電路費は次のモデルにもとづいて予測する。

$$C_{\text{電路費}} = (\text{電路延長 1 キロ当たり } C_{\text{電路費}}) \times (\text{線路延長距離}) \times \frac{(\text{現電車線延長})}{(\text{現線路延長})}$$

$$\text{電路延長 1 キロ当たり } C_{\text{電路費}} = \beta_0 \text{ 電路費} + \beta_1 \text{ 電路費} (\text{電車密度}) + \beta_2 \text{ 電路費} (\text{電車割合})$$

上のモデルによって、 $C_{\text{電路費}} = 4.5$ 億円が得られる。

2.3.2.3.3. 車両費

車両費とは、車両の整備補修、作業管理に要する経費である。本稿では、北海道新幹線の札幌延伸に伴う新規新幹線車両の建設数と、札幌延伸に伴う在来線特急の運行縮小による廃棄車両の数の差を with の費用として加算した。

車両費は次のモデルにもとづいて予測する。

⁶ 国土交通省「令和 3 年度基準コスト※R4.9.30 訂正」

<https://www.mlit.go.jp/tetudo/content/001515442.pdf> (2023 年 1 月 21 日に利用。)

$$C_{\text{車両費}} = (\text{車両 1 両当たり } C_{\text{車両費}}) \times (\text{新規建設数})$$

$$\begin{aligned} \text{車両 1 両当たり } C_{\text{車両費}} &= \beta_0 \text{ 車両費} + \beta_1 \text{ 車両費} (1 \text{ 両当たり車両走行キロ}) + \beta_2 \text{ 車両費} (\text{雪量}) \\ &= (\text{新規建設数}) = (\text{新規新幹線車両の建設数}) - (\text{在来線の廃棄車両数}) \end{aligned}$$

上のモデルによって、 $C_{\text{車両費}} = 2.8$ 億円が得られる。

新規新幹線車両は新青森・新函館北斗間開業時に新規に建設された車両数が 40 両⁷であり、これを参考にした。新青森・新函館北斗間と新函館北斗・札幌間の所要時間はほぼ同じであるとみなし、札幌延伸後の新規新幹線車両は同じ両数が、すなわち 40 両が必要であると仮定した。

在来線特急は北海道新幹線の札幌延伸後、長万部駅から札幌駅を現行のルートで同じ本数運転すると仮定した。在来線特急の運行距離の短縮を約半分と仮定し、札幌延伸後に必要な在来線特急の車両数を現行の半分とした。現在、在来線特急は少なくとも 8 編成 40 両（1 編成当たり 5 両）が運転している⁸。すなわち、札幌延伸により 20 両が廃車となる仮定する以上より、上のモデルの（新規建設数）は 20 両である。

上のモデルによって、 $C_{\text{車両費}} = 2.8$ 億円が得られる。

2.3.2.3.4. 列車運転費

列車運転費とは、列車の運転や作業管理に要する経費である。列車運転費は次のモデルにもとづいて予測する。

$$\begin{aligned} C_{\text{列車運転費}} &= (\text{列車営業キロ当たり } C_{\text{列車運転費}}) \times (\text{線路延長距離}) \\ &\quad - (\text{在来線の運行廃止に伴う費用減}) \\ \text{列車営業キロ当たり } C_{\text{列車運転費}} &= \beta_0 \text{ 列車運転費} + \beta_1 \text{ 列車運転費} (1 \text{ 列車 1 キロ当たり乗車人員}) \\ &\quad + \beta_2 \text{ 列車運転費} (\text{列車密度の対数}) \\ \text{在来線の運行廃止に伴う費用減} &= (\text{列車営業キロ当たり } C_{\text{列車運転費}}) \\ &\quad \times (\text{在来線運行が廃止される区間の線路延長距離}) \end{aligned}$$

⁷ 北海道旅客鉄道（2014）「北海道新幹線用車両について」

<https://www.jrhokkaido.co.jp/press/2014/140416-1.pdf> （2023 年 1 月 21 日に利用。）

⁸ 北海道旅客鉄道ホームページの時刻表より試算。

在来線の運行が廃止される区間は新函館北斗・小樽間（函館本線）、大沼・森間（函館本線砂原支線）の合計 287.8km とした。

上のモデルによって、 $C_{\text{列車運転費}} = -4.3$ 億円が得られる。値が負となることは、上記区間の在来線の運行を廃止した場合に計上される削減費用が、札幌延伸による増加する新幹線列車運転費を上回っていることを示す。

2.3.2.3.5. 駅務費

駅務費とは、駅の維持や乗車券の発行等に要する経費である。駅務費は次のモデルにもとづいて予測する。増加駅数は 5 駅である。在来線の廃止駅数は無人駅が多く、駅務費が小さいことから、本分析では捨象する。

$$C_{\text{列車運転費}} = \left(1 \text{ 駅当たり } C_{\text{駅務費}} \right) \times (\text{増加駅数})$$

$$1 \text{ 駅当たり } C_{\text{駅務費}} = \beta_0 \text{ 駅務費} + \beta_1 \text{ 駅務費} (1 \text{ 駅当たり乗車人員}) + \beta_2 \text{ 駅務費} (\text{平均乗車距離の対数})$$

上のモデルによって、 $C_{\text{列車運転費}} = 1.4$ 億円が得られる。

2.4. 感度分析

本稿では、費用便益分析と同時に、その感度分析も行う。感度分析とは、不確実性を考慮して社会的純便益の正負がどれほど頑健な結果かを確かめる分析である。基本ケースのみの推定では、設定された仮定を緩めた場合の政策の是非が不明という問題点を抱える。感度分析は、この問題点を解決して、結論の信頼性を分析するために行われる。

3. 分析の方法

3.1. 交通手段の意思決定モデル

3.1.1. ロジット・モデル

本稿では、国民はロジット・モデルにしたがって交通手段の意思決定を行うと仮定する。ロジット・モデルでは、次の効用関数を仮定する。交通機関 j の効用を U_j と定義する。第一に、効用 U_j は、確定項 V と確率項 ϵ_j に分けられる確率効用であるとする。第二に、確率項 ϵ_j は、ガンベル分布に従うとする。

$$U_j = V_j + \epsilon_j$$

効用最大化によって意思決定をすると仮定すると、交通機関 1 を選択する確率 P_1 は、交通機関の効用 U_1 が他のすべての交通機関 j （ただし、 $j = 2, 3 \dots N$ ）の効用 U_j を上回る確率に等しい。

$$P_1 = \text{Prob}(U_1 \geq U_j) \quad \text{ただし } j = 2, 3 \dots N$$

$$= Prob(V_1 + \epsilon_1 \geq V_j + \epsilon_j) \quad \text{ただし } j = 2, 3 \dots N$$

$$= Prob\left(V_1 + \epsilon_1 \geq \max_{j=2,3,\dots,N} (V_j + \epsilon_j)\right)$$

交通機関 1 を除いた中で、最も高い効用を $U^* = V^* + \epsilon^*$ と定義すると

$$\begin{aligned} P_1 &= Prob(V_1 + \epsilon_1 \geq V^* + \epsilon^*) \\ &= Prob(V_1 - V^* + \epsilon_1 - \epsilon^* \geq 0) \\ &= Prob(\Psi \geq 0) \quad \text{ただし } \Psi = V_1 - V^* + \epsilon_1 - \epsilon^* \end{aligned}$$

上の式は、潜在変数 Ψ が 0 以上になるならば、交通機関 1 が選ばれることを意味する。 Ψ が 0 以上になる確率が、交通機関 1 を選ぶ確率 P_1 である。ガンベル分布の差 $\epsilon_j^* - \epsilon_1$ はロジスティック分布に従う確率変数になるので、これはロジット・モデルと解釈でき、これは

$$P_1 = \frac{\exp(V_1)}{\sum_{j=1}^N \exp(V_j)} \cdot \dots \cdot \text{式(1)}$$

となることが知られている。

3.1.2. ロジット関数

確定効用 V_j は

$$V_j = \beta_0 + \beta_1 X_{1j} + \beta_2 X_{2j} + \dots + \beta_k X_{kj}$$

であると仮定する。このとき、交通機関 1 が選ばれる確率は

$$P_1 = \frac{\exp(\beta_1 X_{11} + \beta_2 X_{21} + \dots + \beta_k X_{k1})}{\sum_{j=1}^N \exp(\beta_1 X_{1j} + \beta_2 X_{2j} + \dots + \beta_k X_{kj})}$$

となる。なお、すべての交通機関に共通の定数項 β_0 は、 $\exp(\beta_0)$ として約分され、交通機関の選択確率になんの影響も与えないことが了解できる。

ここで、交通機関 1 の選択確率 P_1 を分母に、交通機関 j の選択確率 P_j を分子としたオッズを取る。

$$\frac{P_j}{P_1} = \frac{\exp(\beta_1 X_{1j} + \beta_2 X_{2j} + \dots + \beta_k X_{kj})}{\exp(\beta_1 X_{11} + \beta_2 X_{21} + \dots + \beta_k X_{k1})}$$

さらに、左辺に自然対数を取ると、次のロジット関数と線形予測子を導出できる。

$$\ln\left(\frac{P_j}{P_1}\right) = \beta_1(X_{1j} - X_{11}) + \beta_2(X_{2j} - X_{21}) + \cdots + \beta_k(X_{kj} - X_{k1}) \cdots \text{式(2)}$$

日本国民が同一の効用関数を持ち、各地域の人々が同一の説明変数に直面していると仮定する。各地域の人々の人数が十分に大きければ、地域全体の選択率は個人の選択確率 P に近似できる。したがって、このロジット関数のモデルを基礎に、集計データで重回帰分析を行えば、回帰係数 $\beta_1, \beta_2 \cdots \beta_k$ を推定することができる。

3.1.3. モデルの特定化

交通手段の選択肢を鉄道と空路、説明変数が移動費用、説明変数が移動時間、説明変数を鉄道ダミー変数と考えると、確定効用は

$$V_j = \beta_0 + \beta_1(\text{移動時間}_j) + \beta_2(\text{移動費用}_j) + \beta_3(\text{鉄道ダミー}_j)$$

である。このとき、 β_0 は移動から得られる効用、 β_1 は移動時間が1分大きいときに得られる効用、 β_2 は移動費用が1円大きいときに得られる効用、 β_3 は空路ではなく鉄道を使った時に得られる効用と解釈できる。ロジット関数に変換すると、次式

$$\ln\left(\frac{P_{\text{鉄道}}}{P_{\text{空路}}}\right) = \beta_3 + \beta_1(\text{移動時間の差}) + \beta_2(\text{移動費用の差})$$

が導出できる。各費用の差は、鉄道の数値から空路の数値を引いたそれである。そして、このモデルにおける目的変数、説明変数は、すべて観測可能である。この重回帰モデルに最小二乗法を適用すると、パラメータが推定できる。また、北海道新幹線延伸後の変数を用いて外挿することで、延伸後の選択率を求めることも可能である。

3.2. 使用するデータ

本稿では、全国を沖縄県と北海道を除く45都府県および北海道4地域の49地域に分割して推定を行う。分割の詳細に関しては文末付録に表を記載する。以下、推定に必要なデータの取得方法について概説する。

3.2.1. 被説明変数の取得

被説明変数となる選択確率やオッズを導出するため、本稿では、国土交通省の「第6回(2015年)全国旅客純流動調査」のデータを用いた。そのうち、「都道府県間流動表-(1)出

発地から目的地・年間」を使用し、代表交通機関が鉄道・航空・乗用車等のデータを取得する。当該データは OD 表（Origin-Destination Matrix）の形態をとっている。OD 表は、ある地点からある地点へどのくらいの量の人や物が流動しているかを表にしたものであり、ある 2 地点間の移動需要は対角の値の和をとることで求められる。本分析で使用した元データを表 3～表 5 として付録に記載する。

第 2 章第 2 節で中心に議論した通り、取得した OD 表を使って交通機関別選択確率を求め、交通機関 1 の選択確率 P_1 を分母に、交通機関 j の選択確率 P_j を分子としたオッズを導出する。なお、基準となる交通機関は鉄道とした。すなわち、ロジットの分母は鉄道の選択確率 P_1 とした。

3.2.2. 説明変数の取得

3.2.2.1. データ収集の方法

説明変数となる運賃および所要時間の情報は、Web サービス「Yahoo!乗換案内」および「エアトリ」を用いた。「Yahoo!乗換案内」からは、ウェブスクレイピングにより情報を収集し、これを成形した。詳細は付録の、スクレイピングの実装の項に記す。なお、始点/終点は都府県庁所在地または地域の中心地とした。詳細は付録の表 18 を参照されたい。

3.2.2.2. 鉄道について

Web サービス「Yahoo!乗換案内」を用い、運賃と所要時間について収集した。検索オプションは次表 13 のとおりである：

表 13 「Yahoo!乗換案内」鉄道経路情報取得オプション

日時	運賃		条件		手段					
	種別	座席	歩く速度	表示順序	空路	新幹線	有料特急	高速バス	路線/連絡バス	フェリー
指定なし	IC カード優先	自由席優先	少しゆっくり	到着が速い順	使用しない	使用する	使用する	使用しない	使用する	使用しない

出所：筆者作成

上のおりオプションを設定し、検索結果最上位の経路について、サーバー負担に注意しつつ Web スクレイピングを行った。沖縄県と北海道を除く 45 都府県および北海道 4 地域の中心地間の $49 \cdot 48 \cdot \frac{1}{2} = 1176$ 経路について検索し、経路情報を取得した。

3.2.2.3. 飛行機について

まず、Web サービス「Yahoo!乗換案内」を用い、運賃と所要時間について収集した。検索オプションは表 14 とおりである。

表 14 「Yahoo!乗換案内」空路経路情報取得オプション

日時	運賃		条件		手段					
	種別	座席	歩く速度	表示順序	空路	新幹線	有料特急	高速バス	路線/連絡バス	フェリー
指定なし	ICカード優先	自由席優先	少しゆっくり	到着が速い順	使用する	使用しない	使用する	使用しない	使用する	使用しない

出所：筆者作成

以上のオプションを設定し、検索結果最上位の経路について、サーバー負担に注意しつつ Web スクレイピングを行った。沖縄県と北海道を除く 45 都府県および北海道 4 地域の中心地間の $49 \cdot 48 \cdot \frac{1}{2} = 1176$ 経路について検索し、経路情報を取得した。

但し、このオリジナルデータをそのまま分析上すると問題が生じる。なぜならば、「Yahoo!乗換案内」の提示する航空券の価格は主に大手航空会社航空便の正規価格であり、一般の消費者が直面するような価格と乖離しているからである。

この問題を解決するために、「エアトリ」で示される国内主要(代表)7 空港間についての航空券価格を用い、次の手順で交通費の修正を行った。

- ① 「エアトリ」を用いて、主要(代表)7 空港{成田空港, 羽田空港, 関西空港, 伊丹空港, 中部国際空港, 福岡空港, 新千歳空港(札幌)}について、2023 年の 1、4、7、10 月の最安運賃を検索する。
- ② 季節差がそこまで大きくないことを確認し、4 つの月の平均を取る。
- ③ 「Yahoo!乗換案内」を用いて、各空港間の運賃を検索する。
- ④ 「Yahoo!乗換案内」を用いて、都府県庁・中心地間の運賃を検索する(バス・鉄道を含む)。
- ⑤ ③と④の差を各経路についてとり、運賃のうちバス・鉄道の分を求める。
- ⑥ ⑤と①の和を各経路についてとり、割安な航空便を使った際の空路運賃を求める。
- ⑦ ⑥と③の比を求め($\equiv$ 空路係数_{*i*})、空路係数_{*i*}を、国土交通省の「第 6 回(2015 年)全国旅客純流動調査」に基づき、空路旅客数で加重平均をとる。
- ⑧ ⑦で求めた係数の加重平均($= 0.374$)を本項冒頭で取得した運賃に乗ずる。

⑧で求めた加重平均は、理論的には空路運賃部分のみに乗ざれ、陸路の運賃に足し上げられるべきであるが、(1)交通費の極めて大きな部分は空路運賃に占められており、大きなバイアスが生じないこと、(2)選択した空港が大きな空港であるため運賃が安くなり、故に係数に

下方バイアスがかかっている可能性があること、の 2 つの点に鑑みて、本稿ではこの問題を無視し、この係数を、航空路線を含む経路の交通費全体に乗ずる。

3.3. モンテカルロ法による感度分析

本稿では、モンテカルロ法を用いた感度分析を行う。モンテカルロ法とは、乱数を発生させる試行を繰り返すシミュレーションである。ここでは、回帰係数の推定誤差が純便益の正負に与える影響を確率で把握することを目的に、回帰係数について乱数を発生させるモンテカルロ法を実行した。

標本回帰係数は外生性が満たされれば漸近正規性をもつことが知られているため、正規分布に従うと仮定できる。データから得られた標本回帰係数が最もあり得る母回帰係数であり、データから得られた標準誤差が推定誤差の標準偏差と考える。このため、母回帰係数は、期待値がデータから得られた標本回帰係数で、標準偏差が標準誤差の正規分布に従っているとみなした。

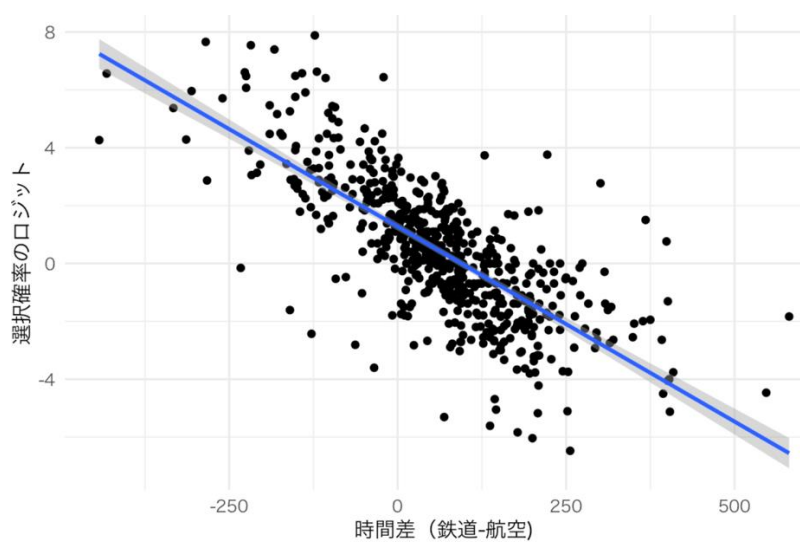
想定される正規分布に従う乱数を発生させ、それを回帰係数とすると、新しい利用者便益、供給者便益、環境便益を計算することができる。乱数を発生させ費用便益分析をする試行を、1000 回繰り返す。得られた 1000 個の費用便益から、どれほど高い確率で純便益が正になるのかが定量的に計測できる。

4. 分析結果

4.1. 費用便益分析の結果

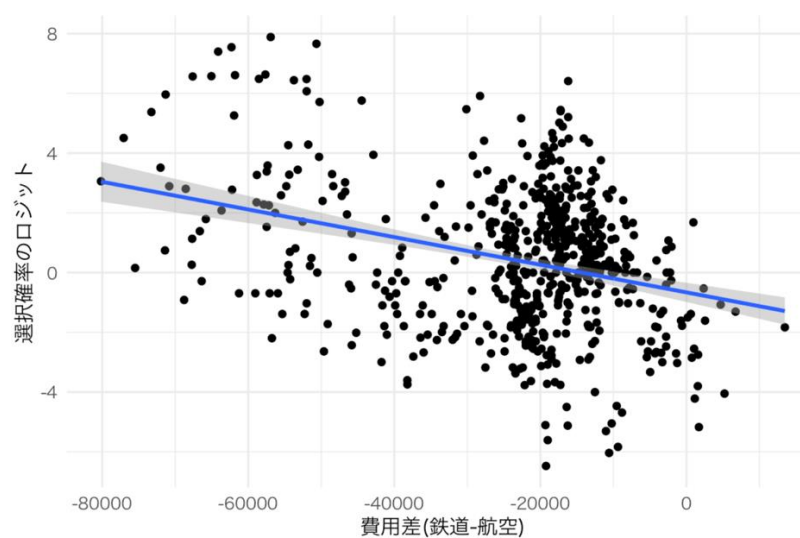
得られた都道府県区間のデータの中から、空路または鉄道の利用者が年間0以下の区間（単位は1000人）、Yahoo!路線図で空路選択が可能としても鉄道利用が推奨される区間を、抜くとサンプル・サイズが607となった。このデータからロジットと説明変数の差分を求めて散布図にプロットすると、下図3のようになった。青線は単回帰直線、グレーの領域は95%信頼区間である。

図3 選択確率のロジットと時間差の散布図



出所：筆者作成

図4 選択確率ロジットと費用差の散布図



出所：筆者作成

このデータを用いて回帰分析した結果、効用関数は

$$\text{効用} U = \beta_0 - 0.0109 (\text{時間}) - 0.0000749 (\text{費用}) + 1.41 (\text{鉄道ダミー}) + \varepsilon$$

t 値 (−16.643) (−6.907) (18.156)

サンプル・サイズ 607 自由度調節済決定係数 0.582

と推定された。T 値は不均一分散に頑健な標準誤差で計算された t 値である。また、空路または鉄道の少なくとも一方の選択率が 0 の区間を除外しているため、サンプル・サイズはそのような値に対応していることに留意されたい。推定の結果、自由度調節済決定係数は 0.58 であった。回帰係数の t 値の絶対値はいずれも 2 を超えており、ある程度信頼をおける結果が得られているといえる。

推定された効用関数を用いて、延伸しない without と延伸する with での交通需要変化を予測し、各種便益を計算した結果は次の通りである。すなわち、開業後、利用者便益は年間+601 億円、供給者便益は年間+267 億円、環境便益は+3.5 億円であった。ただし、便益計算には、回帰分析に用いている区間のうち、道央を含んでいる区間を用いた。また、2030 年を開業年、評価年次を 2023 年、社会的割引率を 4%とした際の現在価値については、利用者便益は+9,819 億円、供給者便益は年間+4,355 億円、環境便益は+55 億円で、合計すると 1 兆 4,230 億円であった。なお、供給者便益には、維持管理費の費用が差し引かれた便益が計上されている。

ここで、当初の建設費 1.6 兆円を、2012 年から 2030 年にかけて同一ペースで投資すると仮定すると、評価年次を 2023 年にした場合、建設費の現在価値は 1 兆 7,323 億円となる。また、23 年から 2030 年の建設費の現在価値は 5,335 億円である。

2012 年からの建設費も考慮すると、社会的純便益はマイナス 3,093 億円となる。したがって、北海道新幹線の函館新北斗駅から札幌駅までの延長計画の経済的合理性については否定的な評価となる。ただし、2023 年以降の建設費のみ考慮するとすれば、社会的純便益はプラス 8,895 億円となり、今後の計画推進は肯定的な評価となる。以上の結果は表 15 にまとめた。

表 15 便益・費用の内訳

便益・費用の内訳		
	年間（運用時）	現在価値（2079 年まで）
利用者便益	601 億円	9819 億円
供給者便益	267 億円	4355 億円
環境便益	3.5 億円	55 億円
小計	872 億円	1 兆 4230 億円
建設費(2012 年以降)	-	1 兆 7323 億円
建設費(2023 年以降)	-	5335 億円
2012 年以降事業全体の社会的純便益	プラス 872 億円	マイナス 3093 億円
2023 年以降残事業の社会的純便益	プラス 872 億円	プラス 8895 億円

出所：筆者作成

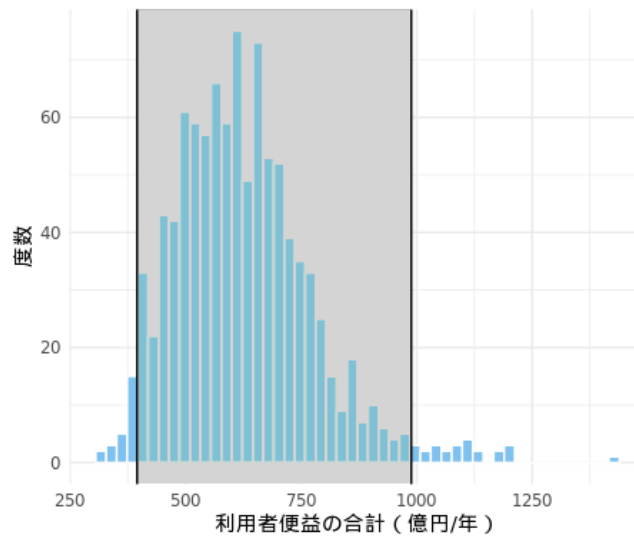
ただし、時間価値は 8769 円/時間と比較的高い点に留意が必要である。これは時間短縮による効果を非常に高く評価していることを意味する。遅い在来線を廃止し、速い北海道新幹線に代替することの便益が高く見積もられ、純便益がプラスになりやすいようにバイアスがかかっている可能性がある。この点に関しては、一般に尤もらしいといわれる値の範囲に収まっている JRTT(2018)の時間価値の試算値に基づくと、年間の便益について、利用者便益は 601 億円から 173 億円に、供給者便益は 267 億円から 204 億円に、環境便益 3.5 億円から 1.6 億円にそれぞれ減少することを指摘しておきたい。なお、この場合、2079 年までの便益小計の割引現在価値は 7000 億円を上回る程度となるが、従って各時点から評価する社会的純便益の正負は変化せず、事業実施の是非についての結論は左右されない。

4.2. 感度分析の結果

得られた効用関数の推定結果を踏まえて、モンテカルロ法にて感度分析を行った。回帰係数の推定誤差を考慮して、一年あたりの利用者便益、供給者便益、環境便益を 1000 それぞれパターン計算した。

一年あたりの利用者便益については、図 5 のようになった。基本ケースで推定された利用者便益は年間約+601 億円であったが、少ない順に数えて下位 5%にあたる 25 番目のケースと、上位 5%にあたる 976 番目のケースについては、それぞれ凡そ+395 億円と+989 億円であり、大まかにこの程度のばらつきがありえるといえる。

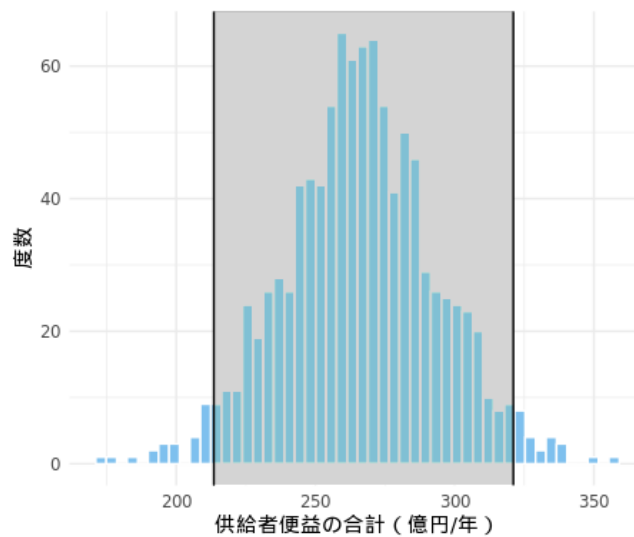
図 5 利用者便益の感度分析



出所：筆者作成

一年あたりの供給者便益については、図 6 のようになった。基本ケースで推定された利用者便益は年間約+267 億円であったが、少ない順に数えて下位 5%にあたる 25 番目のケースと、上位 5%にあたる 976 番目のケースについては、それぞれ凡そ+214 億円と+321 億円であり、大まかにこの程度のばらつきがありえるといえる。

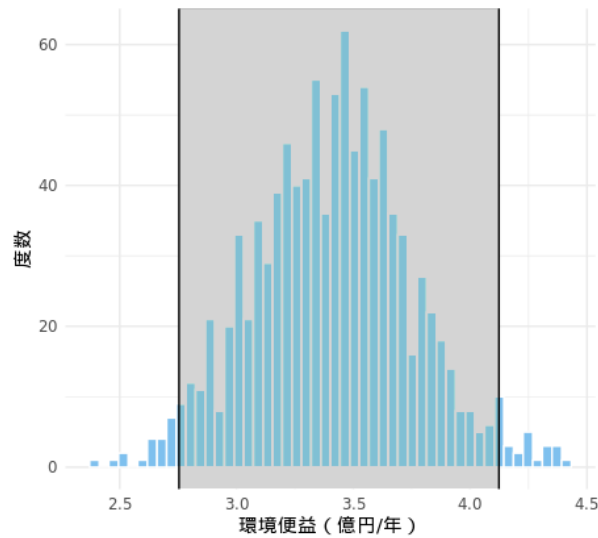
図 6 供給者便益の感度分析



出所：筆者作成

一年あたりの環境便益については、図 7 のようになった。基本ケースで推定された利用者便益は年間約+3.5 億円であったが、少ない順に数えて下位 5%にあたる 25 番目のケースと、上位 5%にあたる 976 番目のケースについては、それぞれ凡そ+2.8 億円と+4.1 億円であり、大まかにこの程度のばらつきがありえるといえる。

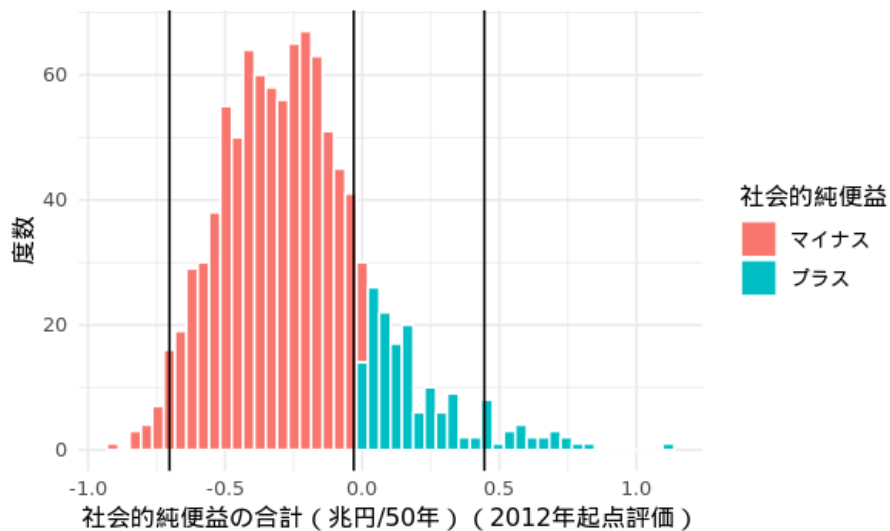
図 7 環境便益の感度分析



出所：筆者作成

それぞれの場合について計算した便益から、2012 年からの建設費の現在価値を差し引いた社会的純便益は、図 8 のようになった。-7029 億円から+4453 億円程度のばらつきがありえた。社会的純便益が正になる割合は 16.2%であった。

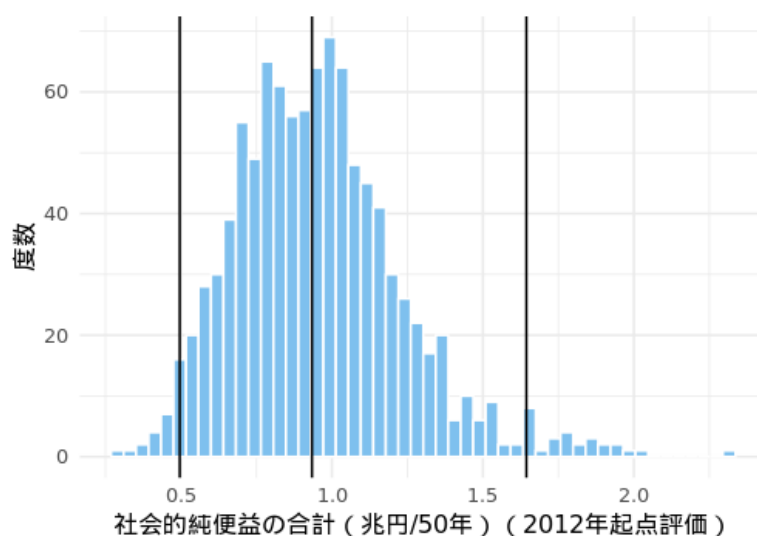
図 8 社会的純便益（2012 年以降）の感度分析



出所：筆者作成

なお、2023 年以前の建設費を考慮せずに計算すると、図 9 のようになった。社会的純便益は凡そ+4959 億円から+1.6441 兆円となる。中央値は約 9340 億円である。したがって、現在価値にして、おおよそ 9340 億円までの建設費増額であれば、社会的純便益が正になる確率は 50%以上である。

図 9 社会的純便益（2023 年以降）の感度分析



出所：筆者作成

なお、時間価値は 8769 円/時間と高い理由が回帰分析における内生性によるものであれば、推定誤差をモンテカルロ法では除去できず、得られた便益分布にもバイアスが発生する点に留意が必要である。

5. 考察

5.1. 既存評価との比較

5.1.1. 事業評価結果の比較表

本分析は 2023 年時点での事業評価であるため、既存の評価との比較を行う。2018 年 3 月に国土交通省より発表された「平成 30 年度予算に係る鉄道関係公共事業の事業評価結果及び概要について」に記載されている新幹線鉄道整備事業の事業全体の投資効率性を本分析の比較対象とする。比較結果は以下の表 16 および表 17 の通りである。

表 16 国土交通省の事業評価結果

評価主体	鉄道・運輸機構	
費用	12,687 億円	貨幣換算した主要な費用：建設投資費(11,267 億円) 維持改良費等(1,420 億円)
便益	13,997 億円	貨幣換算した主要な便益：利用者便益(5,926 億円) 供給者便益(7,484 億円) ⁹ 環境便益(133 億円) 残存便益(454 億円)
純便益	1,310 億円	
費用便益比	1.2	

出所：「平成 30 年度予算に係る鉄道関係公共事業の事業評価結果及び概要について」（国土交通省）

表 17 本分析の事業評価結果

評価主体	本分析の担当者	
費用	17,323 億円	貨幣換算した主要な費用：建設費(17,323 億円)
便益	14,230 億円	貨幣換算した主要な便益：利用者便益(9,819 億円) 供給者便益(4,355 億円) ¹⁰ 環境便益(55 億円)
純便益	-3093 億円	
費用便益比	0.8	

5.1.2. 結果に基づく考察

国土交通省の便益と本分析の便益はほぼ同じ結果になったと言える。ただ、項目別に見ると、本分析の利用者便益は国土交通省と比較して大きく、供給者便益は小さいと言える。一方、費用は大きく異なる結果となった。

利用者便益の差異は時間価値によるものが大きいと考えられる。国土交通省の事業評価では、時間価値を 1 時間当たり 4656 円としている。一方、本分析の時間価値は 1 時間当たり 8769 円である。時間価値がやや過大に推計されたことで、事業実施後の鉄道利用者の見込みが大きくなったと考えられる。

供給者便益の差異は事業者の収入に直結する事業実施後の運賃の設定によるものが大き

⁹ 営業費は供給者便益の項目の 1 つとして計上されている。

¹⁰ 本分析の維持管理費に関しては、供給者便益の項目の 1 つとして計上している。国土交通省の維持改良費と本分析の維持管理費は異なる項目である。本分析の維持管理費は、主に国土交通省の営業費と同じ項目である。

いと考えられる。国土交通省の事業評価では、新函館北斗・札幌間の新幹線料金を 3880 円としている。一方、本分析では、新函館北斗・札幌間において、現行の特急料金と将来の新幹線料金の差額を 3060 円としている。運賃設定の違いが事業者の収入に差をもたらし、供給者便益に影響を与えている。

費用の差異は主に建設費計上の方法によるものであると考えられる。平成 30 年度の国土交通省試算の建設費は、平成 29 年度価格を用いて、各年度に建設費が発生すると設定している¹¹。そのため、平成 30 年度～平成 45 年度の建設費が名目金額より割り引いて計上された。以上より、国土交通省試算の建設費は 1 兆 6700 億よりも下回った値で報告されている。本分析では、先述の通り、2023 年度価格を用いて、建設開始年である 2012 年に建設費が全て発生すると設定した。以上、建設費計上の方法による差異が費用項目の大きな差をもたらしたと言える。

5.2. 本稿における分析の妥当性評価

本事業を 2023 年時点で評価する場合、感度分析の結果が一貫して正であるように、本事業の実施は妥当性が高いと言える。しかしながら、本事業の計画全体を評価する場合、感度分析において、純便益が正となる確率は 16.2%、社会的純便益の幅は凡そ-7029 億円から +4453 億円（それぞれ小さい順に 25 番目、976 番目のモンテカルロ推定結果）となった。本分析の結果を受け入れるのであれば、2012 年度時点で評価する場合、本事業の実施の妥当性には疑義が残ると言える。

次に、本分析の主な限界を 4 点述べる。1 点目は事業実施前後で経路の交通需要が変わらないと仮定した点である。現実には、事業実施による効果を含め、人口や地域の生産力などの変化に伴って経路の交通需要も変化すると考えられる。2 点目は鉄道と飛行機以外の交通手段を捨象していることである。実際には、事業実施によりバスや自家用車などの交通需要が変化すると考えられる。3 点目は新幹線需要と在来線需要を区別していない点である。本分析では、北海道の 4 都市（札幌・函館・旭川・釧路）を対象とした。しかし、札幌―函館間に存在する中間都市における交通需要は、事業実施による新駅の建設や在来線の廃止によって大きく変化すると考えられる。4 点目は、3 点目にも関連するが、既存の評価よりも地区の区分が粗い点である。先行調査の国交省は全国を 417 ゾーンに、JRTT は 419 ゾーンに細分化して需要推計を行っているが、本分析は全国 50 ゾーンに区分して行った。以上より、分析結果の妥当性については今後の検証が必要であると言える。

¹¹ 鉄道建設・運輸施設整備支援機構（2018）「北海道新幹線（新函館（仮称）・札幌間）北陸新幹線（金沢・敦賀間） 附属資料」, p.2-44 を参照。

6. 結論

本稿では北海道新幹線の新函館北斗-札幌間の延伸事業に関する是非の検討を費用便益分析によって行った。先行研究にない独自の点としては、便益においてモンテカルロ感度分析を行ったことにより、社会的純便益の正負がどれほど頑健であるかを検証することにある。

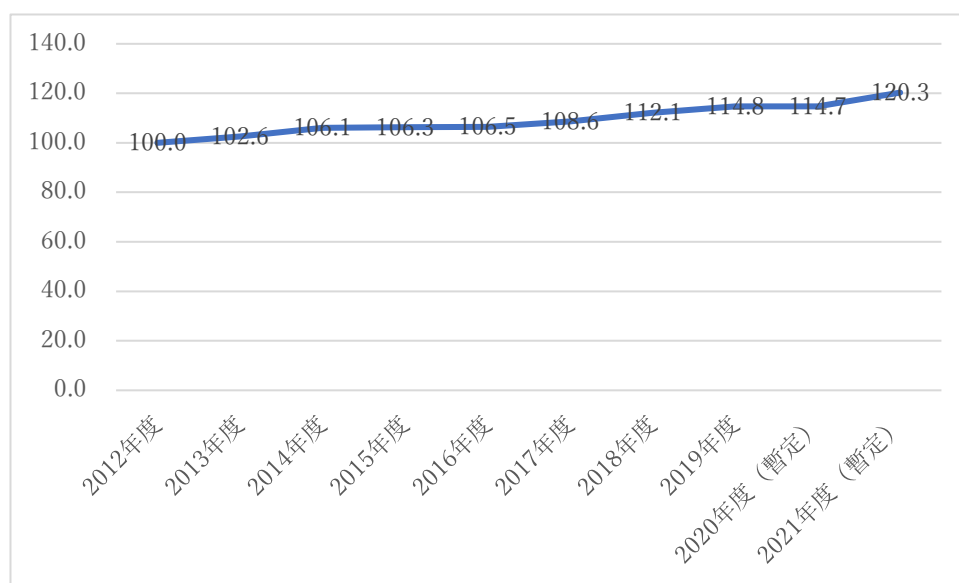
基本ケースでは、新幹線延伸による社会的純便益は、2023 年度を評価基準としてマイナス 3,093 億円となった。便益の内訳としては利用者便益が 9,819 億円、供給者便益が 4,355 億円、環境便益が 55 億円となった。一方で、費用は事業開始当初に見込まれていたものを現在価値化すると 1 兆 7323 億円となった。また、モンテカルロ感度分析の結果、社会的純便益が正になる割合は 16.2%となった。以上の結果から、社会的余剰の観点から言えば当事業は実施すべきでなかったと結論づけられる。

また、現実では当事業は実施の最中にあるため、「政策について引き続き事業を行うべきか」という現在地点からの評価を行うことも必要である。2023 年以前の建設費用を埋没費用と仮定した場合、社会的純便益はプラス 8895 億円となった。また、感度分析の結果、全てのケースにおいて社会的純便益が正になった。また、感度分析における社会的便益の中央値は 9161 億円であった。このことから、今後の建設費の増加が現在価値にして 9161 億円以内であれば、社会的純便益が正になる確率が 50%以上となる。故に、工事が竣工した現在においては、費用便益分析の観点からは事業を推進すべきだと結論付けられる。

なお、2023 年以前の建設費用を埋没費用とすることは是非については、費用便益分析における残事業の投資効率性という観点から考察したい。国土交通省(2009)によると、残事業についての投資効率性を判断する場合の費用は「事業を継続した場合(with)」から「事業を継続しなかった場合(without)」の差分として求めることが出来る。そして、すでに投資がされた額のうち、回収出来ない分は埋没費用として計上するとされている。故に、2023 年時点での政策継続の可否を議論する際には、既に投資された建設費用は埋没費用として見なすことが出来る。

最後に、実際に建設費用が今後上昇する可能性がある点については留意されたい。国土交通省(2022)によると建設工事費デフレーターは 2012 年から 10 年で 1.2 倍になっている。直近では、ウクライナ情勢を背景として資材価格の高騰がさらに加速していることから、建設費用はさらに上昇することも考えられる。

図 10 建設工事費デフレーター推移



出所：「建設工事費デフレーター」（国土交通省 2022）より筆者作成

謝辞

本稿の執筆にあたって、担当教官の東京大学大学院経済学研究科岩本康志教授、及び三菱総合研究所の牧浩太郎様にこの場を借りて御礼を申し上げたい。岩本教授には費用便益分析の理論的基礎やデータ分析の実践的手法など、論文作成にあたって終始ご教示をいただいた。また、牧様には、ご多忙の中、我々の質問に対して懇切丁寧に回答をいただいた。

また、本稿にて示した分析や考察は、全て筆者たち個人の見解である。所属する組織や担当教官の見解ではない。本稿における誤りは全て筆者たちに起因するものである。

参考文献

- アンソニー・E・ボードマン(2004)「費用・便益分析【公共プロジェクトの評価手法の理論と実践】」. ピアソン・エデュケーション.
- 国土交通省(2022)「建設工事費デフレーター」.
https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/jouhouka/sosei_jouhouka_tk4_000112.html(2023年1月22日閲覧).
- 国土交通省(2009)「公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針(共通編)」
<https://www.mlit.go.jp/tec/hyouka/public/090601/shishin/shishin090601.pdf>(2023年1月22日閲覧).
- 国土交通省(2022)「J R旅客会社の基準単価・基準コスト等について」.
https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk6_000029.html (2023年1月22日閲覧). 国土交通省鉄道局 (2012年3月)「収支採算性及び投資効果に関する詳細資料」.
<https://www.mlit.go.jp/common/000205176.pdf> (2023年1月22日閲覧).
- 国土交通省鉄道局 (2018年3月)「平成30年度予算に係る鉄道関係公共事業の事業評価結果及び概要について」.
<https://www.mlit.go.jp/common/001238515.pdf> (2023年1月22日閲覧).
- 国土交通省(2015)「第6回(2015年)全国旅客純流動調査」.
- 鉄道建設・運輸施設整備支援機構(2018)「北海道新幹線(新函館(仮称)・札幌間)事業に関する再評価報告書」.
<https://www.jrnt.go.jp/construction/committee/asset/jk29-05-2.pdf>(2023年1月22日閲覧).
- 鉄道建設・運輸施設整備支援機構(2018)「北海道新幹線(新函館(仮称)・札幌間) 北陸新幹線(金沢・敦賀間) 付属資料」.
<https://www.jrnt.go.jp/construction/committee/asset/jk29-08.pdf> (2023年1月22日閲覧).
- 東京大学公共政策大学院(2011)「北海道新幹線に関する費用便益分析」.
<http://www.pp.u-tokyo.ac.jp/graspp-old/courses/2010/documents/graspp2010-5113090-1.pdf> (2023年1月22日閲覧).
- 西山慶彦, 新谷元嗣, 川口大司, 奥井亮(2019)「計量経済学」. 有斐閣. ISBN: 978-4-641-05385-4 北海道旅客鉄道 (2014) .
- 北海道旅客鉄道 (2014)「北海道新幹線用車両について」.
<https://www.jrhokkaido.co.jp/press/2014/140416-1.pdf> (2023年1月22日閲覧).
- 北海道旅客鉄道 (2022)「北海道新幹線の概要/整備スキームと札幌延伸に向けた取り組み」.北海道旅客鉄道ホームページ.
https://www.jrhokkaido.co.jp/corporate/company/pdf/2022_21_22.pdf (2023年1月22日閲覧).

付録

49 区域対照表

エリア名	道北	道東	道南	道央	青森	岩手	宮城	秋田	山形	福島	茨城	栃木	群馬
県庁所在・中心地駅	旭川	釧路	函館	札幌駅	青森駅	盛岡駅	仙台駅	秋田駅	山形駅	福島駅	水戸駅	宇都宮駅	高崎駅
備考													中心地
エリア名	埼玉	千葉	東京	神奈川	新潟	富山	石川	福井	山梨	長野	岐阜	静岡	愛知
県庁所在・中心地駅	大宮駅	千葉駅	新宿駅	横浜駅	新潟駅	富山駅	金沢駅	福井駅	甲府駅	長野駅	岐阜駅	静岡駅	名古屋駅
備考	中心地												
エリア名	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
県庁所在・中心地駅	津駅	大津駅	京都駅	大阪駅	神戸駅	奈良駅	和歌山駅	鳥取駅	松江駅	岡山駅	広島駅	山口駅	徳島駅
備考													
エリア名	香川	愛媛	高知	福岡	佐賀	長崎	熊本	大分	宮崎	鹿児島			
県庁所在・中心地駅	高松駅	松山駅	高知駅	博多駅	佐賀駅	長崎駅	熊本駅	大分駅	宮崎駅	鹿児島駅			
備考				中心地									

表 18 49 区域と検索に使用した中心地

スクレイピングの実装

使用サービス

Yahoo 社の提供する「Yahoo!乗換案内」に対して、Google 社の提供する Google Spreadsheet と Google Apps Script を使用しリクエストを送信・レスポンスを解析した。

robots.txt と利用規約の確認

「Yahoo!乗換案内」は、robots.txt において、クローラによる’/search/result/’以下へのアクセスを明示的に許可している。したがって、スクレイピングを行うことそれ自体については問題がない。他方、利用規約においては、情報の二次利用について「路線に掲載されている情報は、情報提供元との契約により配信されているものです。そのため、情報や画面の二次利用は基本的に不可となります。」としており、収集した情報を使用することの是非はこの文言の解釈に依存する。法的には、第 47 条の 7（情報解析のための複製等）に基づけば、我々の目的はコンピュータを用いた情報解析のための複製として解釈され、適法であると考えられる。

実行方法

データ収集が終わるまでの間、Google Apps Script の時間主導型トリガーで 5 分おきにスクリプトを実行した。

シートの用意と説明

getlastrow

トリガー実行時に取得を始める行番号を指示するため、実行の完了した行数の情報を取得するためのシート”getlastrow”を作成した。関数は A1 と B2 のみに入力した。

	A	B
1	=ArrayFormula(isblank(scraped!E:E))	
2		=countif(A2:A,FALSE)+2
⋮	⋮	⋮

scraped

情報を蓄積するシートとして、シート”scraped”を作成した。関数は A2,A3,D2 のみに入力した。リクエスト URL のクエリ句は検索条件によって異なるが、例として鉄道選択のケースを示す。

	A	B	C	D	...	K
1	=QUERY(flatten('OD の直 積集合の対角を除く左下 成分を収めたシート '!B2:AX50), "select * where A is not null")	=ArrayForm ula(SPLIT(A2:A,","))		=ArrayFormula(hyperlink("https:// transit.yahoo.co.jp/search/resu lt?from="&B2:B"&to="&C2:C"&fro mgid=&togid=&flatlon=&tlatlon=&v ia=&viacode=&y=2022&m=12&d=16&hh =16&m1=3&m2=2&type=5&ticket=ic&e xpkind=1&userpass=1&ws=3&s=0&al= 0&shin=1&ex=1&hb=0&lb=1&sr=0"))		
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮

使用ライブラリ

ライブラリ **Parser** (バージョン 8)¹²を使用した。

コード

上のおりシートの下準備をしたうえで、関数 doooo を実行した。

¹² https://script.google.com/macros/library/d/1Mc8BthYthXx6CoIz90-JiSzSafVnT6U3t0z_W3hLTAX5ek4w0G_EIrNw/8

```

1  function doooo(){
2      for(var i=SpreadsheetApp.getActiveSpreadsheet().getSheetByName('getlastrow').getRange("B2").getVa
3          lue();i<=1177;i++){
4          var url = SpreadsheetApp.getActiveSpreadsheet().getSheetByName('scraped').getRange(i,4).getValue(
5              );
6          var response = UrlFetchApp.fetch(url);
7          var text = response.getContentText("utf-8");
8          // console.log(text);
9
10         //経路のサマリーブロックを抽出
11         var route_block = Parser.data(text).from('<dl class="routeSummary">').to('<div class="routeDetail
12             ">').build();
13         route_block = route_block.replace("<span class=\"%icnAlert%\">[!]</span>", "")
14         console.log(i);
15         scraped(route_block, i);
16         Utilities.sleep(10000)
17     }
18 }
19
20 function scraped(route_block, i) {
21
22     //span タグで囲まれている記述(トップニュース)を抽出
23     var time = Parser.data(route_block).from('<li class="time">').to('</li>').build();
24     var transfer = Parser.data(route_block).from('<li class="transfer">').to('</li>').build();
25     var fare = Parser.data(route_block).from('<li class="fare">').to('</li>').build();
26     var distance = Parser.data(route_block).from('<li class="distance">').to('</li>').build();
27
28     //出発時刻を指定しないケース
29     time_total = time.slice(0,time.indexOf("<"));
30     time_ride = Parser.data(time).from('(<乗車<!-- -->').to('<!-- -->').build();
31
32     // Transfer count
33     transfers = Parser.data(transfer).from('乗換:').to('<!-- -->回').build();
34     transfers = transfers.slice(transfers.lastIndexOf(">")+1,);
35
36     // Fare
37     fare_total = Parser.data(fare).from('IC 優先:').to('<!-- -->円').build();
38     fare_total = fare_total.slice(fare_total.lastIndexOf(">")+1,);
39     // basic fare
40     fare_basic = Parser.data(fare).from('(<乗車券').to('円').build();
41     //special fare
42     fare_special = Parser.data(fare).from('特別料金').to('円').build();
43
44     // Distance
45     distance_total = Parser.data(distance).from('<li class="distance">').to('km</li>').build();

```

```

43     distance_total = distance_total.slice(0,distance_total.indexOf("k"));
44
45     // summary array を作成
46     var routeSummary = [[time_total,time_ride, transfers, fare_total,fare_basic,fare_special, distanc
47     e_total]];
48     SpreadsheetApp.getActiveSpreadsheet().getSheetByName('scraped').getRange(i,5,1,7).setValues(route
49     Summary);
50     console.log(routeSummary);
51 }

```

モンテカルロ法の R による実装

モンテカルロ法を R で実装する最も簡単な場合を例示する。本項で実際にモンテカルロ感度分析に使用したコードはこれを応用したもので、200 行程度であるが、冗長であるので割愛する。

```

1  beta <- 5 #パラメーターが 5 と推定
2  standard_error <- 1 #標準誤差が 1 と推定
3
4  beta_1_random <- rnorm(n=1000, mean =beta, sd = standard_error) #期待値 5、標準誤差 1 の正規分布
   に従う乱数を発生させる
5
6  n <- 1000 #再計算の回数を 1000 と指定
7  data<- data.frame(matrix(0,n,2)) #再計算結果を格納するデータフレームを作る
8  colnames(data) <- c("beta_used","score") #変数に命名
9
10 for(t in 1:n){
11   beta_r <- beta_1_random[t]
12   score_r <- beta_r*10 + 40 #スコア算出
13
14   data[t, "beta_used"] <- beta_r
15   data[t, "score"] <- score_r
16 } #モンテカルロ法によるスコア計算
17
18 hist(data$score) #スコアのヒストグラム表示

```

以上